



TITLE:

周辺視に於ける明るさ受容機構の  
精神物理学的研究( Dissertation\_全  
文)

AUTHOR(S):

苧阪, 直行

---

CITATION:

苧阪, 直行. 周辺視に於ける明るさ受容機構の精神物理学的研究. 京都大学, 1979, 文学博士

ISSUE DATE:

1979-03-23

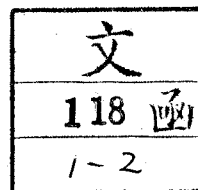
URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k2151>

RIGHT:

周辺視に於ける明るさ受容機構の

精神物理学的研究



苧 阪 直 行

1978年

## ま え が き

本論文は英文・邦文にて既に公刊した14編の論文及び未刊の実験論文から構成されている。既刊論文の発表誌は次の如くである。

Perceptual and Motor Skills (U.S.A)

Perception and Psychophysics (U.S.A.)

Journal of the Optical Society of America (U.S.A.)

The Journal of Psychology (U.S.A.)

Japanese Psychological Research (Japan)

Electroencephalography and Clinical Neurophysiology

(The Netherlands)

Neuropsychologia (U.K.)

Behavior Research Methods and Instrumentation (U.S.A.)

心理学研究

人間工学

既刊論文は全て副論文に収録した。また、論文の排列や若干の内容には既刊論文と多少異なる個所があるが、これは、本論が、現時点で既刊・未刊の論文を再編成したものであることによっている。

尚、全実験の相互連関は巻末の流れ図に示した。



## 謝 辞

本論文を執筆するにあたり、大学院在籍中より今日に到るまで研究歴の浅い筆者に高い理論的見地から種々の形で示唆を与えられ、さらに筆者の既刊の論文にはいつも適切なる御批判と御助言とを賜った柿崎祐一先生、また在籍中の御指導をいただき、特に集積論理ゲート等の実験遂行上に於ける有効性を示唆され、筆者がその方面に興味をもつ機会を与えられた本吉良治先生、さらに柿崎先生と共に京大心理学教室発刊の Brief Report に書く機会を与えていただき、英文についての示唆を与えていただいた平野俊二先生に心から感謝の意を表します。

尚、既発表の論文に関連して次の方々に詳細なコメントや貴重な提言、さらに英文修正の示唆をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

秋田宗平教授（京都工芸繊維大学心理学教室）、岩脇三良教授（中京大学心理学教室）、江島義道博士（京都大学工学部照明工学教室）、Dr. B. H. Blowers (Univ. of Hong-Kong, Hong-Kong)、Dr. J. D. Cohen (Mount Holyoke College, U. S. A.)、Prof. S. Corkin (Massachusetts Institute of Technology, U. S. A.)、Prof. E. Donchin (Univ. of Illinois, U. S. A.)、Prof. R. Fox (Vanderbilt Univ., U. S. A.)、Prof. J. B. Sidowski (Univ. of South Florida, U. S. A.)

また、未発表データの一部を送っていただいたり、筆者の質問に快く答えていただいた次の二教授に深く感謝の意を表します。

Prof. L. E. Marks (Yale Univ.)

Prof. B. Drum (George Washington Univ.)

尚、データ処理の一部は京都大学大型計算機センターの主システム（FACOM 230/75, M-190）及び旧システムⅢ室のグラフィック・システム（FACOM 230/30, 230/35, 230/48）を使用した。計算機センター関係者に感謝します。

最後に、被験者となつていただいた京都大学、追手門学院大学の学部学生、院生、さらにお世話になつた諸学兄に感謝の意を表します。

## 凡 例

- (1) 表示単位は国際 S I 単位 (Système Internationale) に従った。従って輝度の表示は  $\text{dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  によった。また、引用文献中旧 dB 表示  $\text{dB re } 10^{-10} \text{ L}$  によっているものは全て新 dB 表示に改めて引用した。
- (2)  $^{\circ}$ ,  $'$ ,  $''$  はそれぞれ弧度法による度, 分, 秒を示す。
- (3) 引用人名中、Stevens は、S. S. Stevens と J. C. Stevens に識別して記した。
- (4) 主な Figure, Table 等はまとめて論文の最後を示した。

# 目 次

頁

は し が き	i
謝 辞	iii

オ 1 章 序 論	1
1・1 視 野	1
1・2 構造的レベルに於ける周辺視と中心視	2
1・3 機能的レベルに於ける周辺視の役割	5
1・4 周辺視研究に於ける方法論的問題	6
1・5 周辺視研究の展開	10
1・5・1 周辺視に於ける絶対光覚閾値の測定	12
1・5・1a 閾値に及ぼす空間加重効果	13
1・5・1b 閾値に及ぼす時間加重効果	14
1・6 周辺視での閾値を規定する生理機序	15
1・7 周辺視野の関数としての閾値	18
1・8 閾値と閾上値との関係	20

オ 2 章 周辺視に於ける明るさの 精神物理学 (I)	23
--------------------------------	----

2・1	明るさのベキ法則とベキ関数	23
2・2	ベキ指数とダイナミック・レンジ	30
2・3	周辺視に於ける明るさのベキ関数の関数型について	32
2・3・1	ベキ関数(I)	33
2・3・2	ベキ関数(II)	35
2・4	周辺視に於ける明るさの等感曲線 (Equal Brightness Contours)	38
2・5	周辺視に於ける明るさのベキ関数を 規定する要因	40

### オ 3 章 周辺視に於ける明るさ受容機構 のベキ関数による検討

3・1	Jameson の実験	43
3・2	相場の実験	46
3・3	Marks の実験	48
3・3・1	Marks (1971) のデータ	48
3・3・2	Marks (1966) のデータ	52
3・3・3	Marks (1968) のデータ	56
3・4	Pöppel & Harvey の実験	62

3・5	Drum の実験	67
-----	----------	----

オ4章	実験	73
-----	----	----

4・1	周辺視の明るさのベキ指数に及ぼす面積の効果	75
-----	-----------------------	----

4・1・1	実験Ⅰ	75
-------	-----	----

4・2	周辺視の明るさのベキ指数に及ぼす時間の効果	82
-----	-----------------------	----

4・2・1	実験Ⅱ	83
-------	-----	----

4・2・2a	実験Ⅲa	89
--------	------	----

4・2・2b	実験Ⅲb	96
--------	------	----

4・2・3	実験Ⅳ	99
-------	-----	----

4・3	周辺視の明るさのベキ指数に及ぼす視野の効果	103
-----	-----------------------	-----

4・3・1	実験Ⅴa	104
-------	------	-----

4・3・2	実験Ⅴb	109
-------	------	-----

4・4	周辺視の明るさのベキ指数と閾値及び 閾上の明るさの等感曲線	113
-----	----------------------------------	-----

4・4・1	実験Ⅵa	114
-------	------	-----

4・4・2	実験Ⅵb	123
-------	------	-----

4・5	結論と要約（実験Ⅰ～Ⅵ）	140
-----	--------------	-----

オ5章	周辺視に於ける明るさの 精神物理学（Ⅱ）	143
-----	-------------------------	-----

5・1	明るさのバキ法則と潜時バキ関数	143
-----	-----------------	-----

5・2	マグニチュード推定法と反応潜時の関係	144
-----	--------------------	-----

5・3	周辺視に於ける潜時バキ関数	147
-----	---------------	-----

5・4	周辺視に於ける潜時の等値曲線 (Equal Latency Contours)	149
-----	--	-----

5・5	周辺視に於ける潜時バキ関数を 規定する要因	150
-----	--------------------------	-----

オ6章	周辺視に於ける明るさ受容機構 の潜時バキ関数による検討	152
-----	--------------------------------	-----

6・1	Mansfieldの実験	152
-----	--------------	-----

オ7章	実験	155
-----	----	-----

7・1	周辺視の潜時バキ関数に及ぼす 輝度の効果	155
-----	-------------------------	-----



7・1・1	実験 VII	155
7・1・2	実験 VIII	164
7・2	周辺視の潜時バキ関数と生理的指標 との相関関係	169
7・2・1	実験 IX	170
7・3	結論と要約(実験 VII ~ IX)	178

## オ8章 その他の周辺視についての 関連実験

8・1	実験 X (周辺視の屈折効果)	181
8・2	実験 XI (周辺視の時間分解能)	186
8・3	実験 XII (周辺視の面積効果 I)	189
8・4	実験 XIII (周辺視の面積効果 II)	195
8・5	実験 XIV (周辺視の耳側・鼻側差)	197
8・6	実験 XV (周辺視の可視度の回復過程)	201
8・7	実験 XVI (擬似ランダムパルスの発生)	204
8・8	結論と要約(実験 X ~ XVI)	211

## オ9章 全体の要約(実験 I ~ XVI)

9・1	全体の結論と要約	213
-----	----------	-----

---

引用文献

221

図と表

236

I

316

あとがき

[220]

## 才1章 序 論

本章では周辺視の定義とその構造的、機能的意義を中心視のそれと比較することにより明らかにし、周辺視研究に固有の問題点とその展開過程をみる。

### 1・1 視野

視野とは頭部と眼球を固定して1点を凝視 (fixation) した時に見え得る外界の範囲で、単眼視野 (monocular visual field) と両眼視野 (binocular visual field) に分けることができる。また、頭部を固定して眼球のみを動かして見え得る範囲は動眼視野といわれる。本論では特にことわらない限り、視野は全て頭部と眼球を顎固定台で固定した状態で中央の凝視点を注視した時に右眼単眼視で見え得る外界の全範囲をさすことにする。

## 1・2 構造的レベルに於ける周辺視と中心視

単眼視野の中で、広義の中心視野の全視野に占める割合は、個人差を考慮しても、ただか2.5%程度にすぎない。それに対して、周辺視野は、およそ97.5%（面積比で約40倍）の広い視野の範囲を占有しているといわれる（LeGrand, 1968, p.360~361）。

視野内の視空間の表面反射特性をもった対象は、ほぼ2次元的広がりを持ち、切手大の面積を有する眼底網膜（retina）上に結像される。そして、外界と網膜との間には眼の光学系が介在する。従って視野は proximally には左右上下が反転して網膜上に写像されることになる。Proximally には右眼右半視野（temporal visual field）と左半視野（nasal visual field）はそれぞれ右眼鼻側網膜（

nasal retina) と耳側網膜 (temporal retina) に、右眼上半視野 (superior visual field) と下半視野 (inferior visual field) はそれぞれ右眼下半網膜 (inferior retina) と上半網膜 (superior retina) に投射されることになり、視野と網膜の位置の相互関係は少くとも物理的には完全な 1 対 1 対応の関係にあることになる。Polyak (1941) は、網膜視細胞層の組織学的分類に基づいて、視野を 3 つの中心視野と 4 つの周辺視野に分割した。Fig I に Polyak (1941) に従って筆者が描いた視野の分類図を示す： 視軸から、半径視角  $2.5^{\circ}$  (中心窩, fovea)、 $4.2^{\circ}$  (傍中心窩, parafovea)、 $9.2^{\circ}$  (遠中心窩, perifovea) の 3 つの中心視野と、 $14.2^{\circ}$  (近周辺部, near periphery)、 $24.2^{\circ}$  (中周辺部, middle periphery)、 $53^{\circ}$  (遠周辺部, far periphery)、 $53^{\circ} \sim$  ora serrata (外周辺部, extreme periphery) の 4 つの周辺視野 (い

ずれも鼻側網膜方向への半径)である。しかし、ここでは視角約  $2.5^\circ$  の中心窩網膜(挟義の中心視野)で注視することを中心視(central vision, direct vision; 直接視ともいう)、それ以外の周辺網膜部位でみることを周辺視(peripheral vision, indirect vision; 間接視ともいう)ということにする。また、系統発生的・個体発生的にも周辺視系(ambient system; 上丘系)は中心視系(focal system; 皮質系)に先行するという(Trevarthen, 1968; Schneider, 1969; Osaka, 1978)。

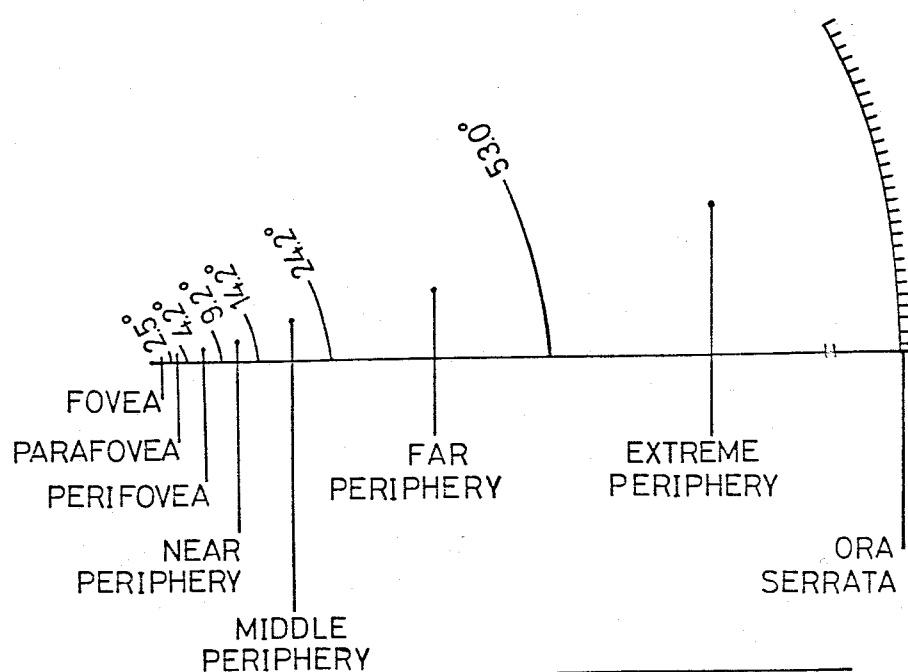


FIG.1 TEMPORAL VISUAL FIELD (RIGHT EYE)

### 1・3 機能的レベルに於ける周辺視の役割

確かに周辺視野は中心視野より圧倒的に広い範囲を保持しているが、我々の日常生活に於ける visually-guided-behavior は、その多くを中心視からの情報に依存している。例えば、視力は周辺視では著しく低下し、[中心窩からの視角  $5^\circ$  で 25%、 $10^\circ$  で 7%、 $20^\circ$  で 3%、そして  $40^\circ$  では実に 0.5% まで低下する (von Helmholtz, 1924)] 高速眼球運動の支えがなければ文字も満足には読めなくなってしまう (Wertheim, 1894)。

それでは、周辺視は日常的な行動に於いて中心視の補足的役割しか担っていないのかというと決してそうではない。例えば、我々が中心視野のみを有効視野 (池田, 1975) としてもつ、小孔のあいた遮蔽メガネ (Levy-Schoen, 1976) を装着して本を読んだり絵画をみたりする場合を考えてみよう。結果は、明らかに本は遅々としてしか読まれず絵画も

始めは何が描いてあるのかを「理解」するためにバラバラの「部分」を継時的に統合しなければならず、生き生きとした感動やダイナミズムが直ちに失われてしまうことを認めざるを得ないだろう(苧阪, 1978f)。これは、周辺視が「無意識的」にせよ、我々の視環境の安定性と恒常性を常に維持するための緩衝系として機能していることを示唆している。つまり、周辺視の主たる役割は、中心視の情報処理機構とダイナミックな相互作用を営みながら視野全体の情報処理機構の効率を常に最適化することにあると考えられる(苧阪, 1978a)。

#### 1・4 周辺視研究に於ける方法論的問題

周辺視がこのように重要な役割を果たしているにもかかわらず実験心理学、特に知覚の分野では周辺視の機能はあまり意識的に問題と



してとりあげられることはなく看過されてきた。そして、知覚現象の実験的検討は、もっぱら中心視を用いた研究のみが行われてきた。これは、周辺視に於ける情報摂取活動を研究測定するにあたって、この研究固有の方法論的問題点（簡潔に言えば方法論的困難性）が内在しているためであると考えられる。周辺視研究の方法論的困難性を示すものとしては次のようなものがあげられる。

(1) 周辺視に於ける極端な視力の低下現象 (Wertheim, 1894; Low, 1943, 1951; Randall et al., 1966) — 周辺視となるほど視力は急激に低下する —

(2) 周辺視に於ける屈折異常現象 (refractive error) (Ferree & Rand, 1933; Ferree et al., 1931; Leibowitz et. al., 1972) —

視軸から離れた周辺から入射してくる光線は角膜や水晶体等の光学系で屈折異常を伴う ——

- (3) 有効瞳孔径の縮小現象 (Spring & Stiles, 1948; Sloan, 1950)

—— 瞳孔径は視軸を中心として前方面に分散しているため、周辺視になるほどみかけの瞳孔径は縦長の楕円型となり、従って人工瞳孔で絞らない限り、眼球内へ入る光量は入射光が周辺に偏るほど減少してゆく ——

- (4) Stiles - Crawford 効果 ——

視細胞層に垂直に入射しない光はやや暗くみえる ——

- (5) Stray light の効果 ——

強い周辺入射光は眼底で乱反射を

起こし、この乱反射による Stray  
light が近傍の閾値の上昇をもたら  
す —————

また、周辺部網膜には色覚情報を mediate  
する錐体細胞が乏しいため一般に色の弁別力  
が悪いことも原因の一つであろう。従って  
、一般に周辺視の実験では観察者は刺激対象  
の特徴を正確に判断、報告することが大変困  
難である。このような理由から周辺視研究  
は未だ定性的なデータの記述の域を出ず、よ  
り一般的な定量的記述、或いは周辺視での現  
象の定量的定式化は困難な状態にあるといえ  
る。

## 1・5 周辺視研究の展開

周辺視の基礎的データが系統的に蓄積され始めたのは19世紀末頃からであるが初期の研究では周辺視に於ける幾何学図形、アルファベット文字や数字の形態弁別実験が多く行われた (Kirschmann, 1908; Korte, 1923; Geissler, 1926; Kleitman & Blier, 1928; Zeigler et al., 1930; Collier, 1931; Munn & Geil, 1931; Whitmer, 1933; Delgado, 1945; Graefe, 1957)。  
これらの実験はいずれも図形等が周辺視ではどの位識別できるかを問題にした定性的な研究であった。Kirschmann (1908, p. 358-369) は、右眼周辺視で白地に黒と黒地に白の幾何図形やアルファベットを呈示したところいずれも黒地に白の条件が認知域に於て低いことを見出した。これは、黒地に白図形という白さと黒さの対比効果はその逆の組合わせの場合より大きいことを示唆し

ている。このような図形や文字の読みとり易さを規定しているのは本章オ4節でとりあげた個々の事象以外に周辺網膜レベルに於ける対比効果が大きな意味をもつことを示唆している。従って、周辺視に於ける種々の高次情報処理過程（例えば、文字の読みとり等）を支えている基本的な処理機構の解明なしにそのような高次処理過程を検討することには疑問がある。上述の白い図と黒い地の間の対比効果は白さの判断とつながりをもつといわれるが、これを仮に、より一般的な明るさの対比の枠組（Hurvich & Jameson, 1966）の中でとり扱うことができれば、そのようなデータを周辺視に於ける明るさ受容機構の研究という文脈で検討することもある意味では可能である。さらに、明るさの知覚という文脈での検討は、より一般的な定量的データの関数的とり扱いが可能となること、従って予測が可能となることも大きな意義の一つであろう。

### 1・5・1 周辺視に於ける絶対光覚閾値の測定

刺激連続体上で刺激をその光の輝度(luminance)が減少する方向へ移動させてゆくと明るさの感覚が漸減してゆき、ついには明るさゼロとなり見えなくなってしまう。逆にエネルギーを漸増させてゆくとある点で見えるようになる。この遷移点は絶対光覚閾(以下閾値と略す)とよばれ刺激連続体に対して通常S字形曲線を描き、Step functionとはならない。従って、閾値は習慣的に frequency-of-seeing カーブの50% 点に対応する刺激輝度と定義されている。ここで重要なことは閾値は操作的に定められた概念で明るさはもたない(理論的には明るさゼロと定義されよう)ということである。そして、しばしば暗順応下では周辺視の閾値は中心視のそれより低いという事実である。

## 1・5・1a 閾値に及ぼす空間加重効果

刺激の輝度と呈示時間が一定であれば、刺激の面積が大きくなるほど一般に閾値は減少傾向を示す。また、同じ閾値に達するためには面積が大きいほど輝度は少くてよい。

即ち、面積を  $A$ 、輝度を  $\phi$  とすると  $A\phi = \text{constant}$  という Ricco の法則が成立する（但し、 $10^\circ$  周辺視では  $\phi A^{1/2} = \text{constant}$  という Piper の法則が、さらにより一般的には  $\phi A^n = \text{constant}$  という Piéron の法則が成立するといわれる）。

Graham et al.(1939) と Graham & Bartlett (1939) は中心視と周辺視で円型刺激の半径を  $1'$  から  $5'$  まで変化させた時に閾値に達するに必要な輝度量を測定した結果、面積の効果は周辺視で著るしいことを示した。しかし、刺激の面積がある程度大きくなると

もはや面積の効果は受けず、輝度と呈示時間に依存するようになった。他方、周辺視での面積の効果は中心視のそれとほとんど差が認められなかったという報告もされている(Riopelle & Show, 1953)。しかし、この場合も、閾値は一般に暗順応条件下では周辺視となるほど低くなる傾向が認められた。

#### 1. 5. 1b 閾値に及ぼす時間加重効果

次に刺激の面積が一定であれば刺激の呈示時間 $T$ がある程度の範囲内( $T \leq 100 \text{ msec}$ )で増加すれば閾値に達するのに必要とされる輝度 $\phi$ は減少してゆく。即ち、 $\phi T = \text{constant}$ という Bloch の法則が中心視では成立する(Blondel & Rey, 1911; Karn, 1936)。しかし、 $T \geq 1000 \text{ msec}$  となると Bloch の法則は成立せず、閾値は $\phi$ のみに依存するよう



になる。また、Graham & Margaria (1935) は、周辺視で面積と呈示時間の関係を検討し、半径  $1'$  の大きさの刺激では 100 msec までは Bloch の法則が成立するが、それ以上の大きさの刺激では法則の成立範囲が短い時間の側へズレてゆくことを示した。尚、Bloch の法則が成立する最長呈示時間は臨界呈示時間  $T_c$  (critical duration) と呼ばれている。

このように、閾値を規定する刺激パラメタは相互に影響を及ぼしあうという関係にある。そして、周辺視での閾値の規定要因が中心視と若干異っていることは、周辺視に於ける刺激の空間・時間的加重機構が中心視のそれとは異なることを物語っているといえよう。

## 1・6 周辺視での閾値を規定する生理機序

網膜に於ける光刺激の電位変動への最初の変換は光受容細胞、即ち、桿体細胞 (rods) と錐体細胞 (cones) によって行われる。眼底に達した光刺激はその輝度水準に応じて桿体機構、錐体機構のいずれかで、或いは両機構で変換処理される。この両機構の刺激の輝度水準に対応した応答機構は二重機能説 (The Duplicity theory) として知られている (Schultze, 1886; von Kries, 1895)。閾値関数の型等は事実この説である程度は説明できる部分もある。Osterberg (1935) や Polyak (1941) のヒトの網膜の組織学的研究によれば、網膜の水平径線上での錐体密度は中心窩で最も高く、5°周辺になると激減するのに対して、桿体密度は中心窩ではゼロ、周辺20°で最大となり、20°以上では漸減傾向を示すという。刺激光の輝度が  $75 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  より高い場合は主と

して錐体機構 ( photopic vision ) が明るさ感覚を司るといわれ、55 dB 以下では桿体機構 ( scotopic vision ) が明るさ感覚を司るといわれる、そしてその中間の輝度水準 ( mesopic vision ) では両機構が共に明るさ感覚に寄与するという ( 但し、 $65 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2 = 1 \text{ m L}$  )。その他、両機構には次のような機能的差異があることが知られている: 錐体機構は約700万個の錐体より成っており、弁別的处理能力を有し、そのピーク波長 ( 感受波長 ) は555 nm にあり、約65 ~ 130 dB の daylight 下で働き、色覚を有する。さらに、暗順応速度は速く約7分で終了し、高い空間解像能 ( 視力 ) と速い時間分解能を有している。他方、桿体機構は、約1億2400万個の桿体より構成され、加重的能力を有し、そのピーク感受波長は505 nm にあり、約65 dB 以下の輝度水準下で働き、色覚は有しない。さらに、暗順応速度は遅く約40分もかかり、低い空間分解能とやや低い時間

分解能を有している。

以上の両機構の特徴は多かれ少なかれ、周辺視や中心視の閾値の規定要因として作用していることは推測されるが、これはあくまで推測であってその生理レベルでの微細機構を云々することは精神物理学的には余り意味をもたない。要するに、既知の生理機序から推測されることは、中心視は主として錐体機構からの寄与を多く受けるのに対し、周辺視は主として桿体機構からの寄与をより多く受けるだろうということである。

## 1・7 周辺視野の関数としての閾値

もし、視野がその機能的レベルで等質であれば、視野のどの位置で測定した閾値も等しい値に近づくはずである：即ち、縦軸に閾値、横軸に呈示視野をとり、測定されたデータ

をプロットすると、横軸と平行なフラットな曲線が得られるはずである。もし、それが事実ならば、これは閾値は視野とは独立であることを示唆していることになる。しかしながら、前節でもみてきたように、一般に、暗順応下では、刺激の面積、呈示時間が一定の場合は、閾値は中心視で最も高く（感受性が最も低く）、周辺視になるほど漸減してゆく（感受性の上昇）。これは、前節で述べた低輝度水準での桿体機構の光加重効果（summative effect）によるところが大きいと推定される。また、仮にそのような効果が原因ではないとしても、何らかの要因が作用して、視野と閾値が独立ではないことは明らかである。独立ではない原因を桿体機構のどのレベルでの影響によっているかを推定することも重要であるが、さらに重要なのは測定した閾値が視野と独立（independent）なのか依存적（dependent）なのかを精神物理学的数据構造を検討して決定することである。

ある。この意味で生のデータやそのデータから間接的に構成された尺度値を視野の関数としてグラフ上にプロットした場合、データ曲線が視野とフラットな平行移動関係にあるか否かを問題にすることは重要である。そこで以下の論議では、理論的な観点からの帰無仮説として、常にデータは「視野とは独立である」と仮定することをその検討の出発点とすることにしたい。

## 1・8 閾値と閾上値との関係

さて、前節の帰無仮説に従って、仮に「閾値は視野とは独立」であるとしよう。そして、閾値の輝度( $\phi_0$ )に対して $\Delta\phi$ という1 JNDの輝度を加えてみよう。 $\phi_0 + \Delta\phi$ はおそらく $\phi_0$ よりもよりはっきりとその刺激特性をspecifyできるだろう。ある観測者は、 $\phi_0 + \Delta\phi$ の惹起する明るさは $\phi_0$ だ

けの時より主観的に明るくみえると報告する  
 かも知れない。もし、 $\Delta\phi$  という増分閾が  
 また、「視野とは独立」で  $1 \text{ JND}$  の中がど  
 の呈示視野でも等しいならば、そして、観  
 察者がみかけの明るさの増分量を何らかの方法  
 で報告することができれば、 $\psi(\phi_0 + \Delta\phi)$   
 は、閾値曲線を縦軸（輝度軸）にそって少し  
 上方へ平行移動したやはり「視野とは独立」  
 な関数型を示すはずである（但し、 $\psi(\phi_0 + \Delta\phi)$   
 $\Delta\phi$ ）は  $\phi_0 + \Delta\phi$  という輝度が惹起する主  
 観的明るさ量とする）。閾値曲線が  $\phi_0$  に  
 規定されるのに対して、 $\phi_0 + n \cdot \Delta\phi$  に規定  
 される曲線は閾上曲線と呼ばれる。そして  
 、主観的な「明るさ」の概念と定義はこの閾  
 上値の惹起する心理量（明るさ）をその出発  
 点としている（前節 1・5・1 で述べたよう  
 に閾値の概念はすぐれて操作的な観測に立脚  
 した特異な定義をもつが故に、理論的には「  
 明るさゼロ」の曲線を視野の関数として形成  
 すると考えられる）。

しかしながら、閾値は「視野と独立」であっても、1 JND の中<sup>(φ)</sup>が視野によって異なる(視野に依存する)ならば、閾値曲線と閾上値曲線は平行移動の関係にならないことになる。

我々は、閾値レベルのデータ構造はそのまま閾上レベルの明るさ受容機構で記述、説明することができると「信じて」いるが、そのような閾値—閾上値の間の平行関係は如何なる輝度レベルでも常に保存されているとは限らないのである。

実際、19 世紀末から集積された多くの閾値データがあるにもかかわらず、閾上刺激の惹起する明るさと閾値レベルのそれとの精神物理学的关系を検討した研究は非常に少ないのである。尚、この問題は実験 VI a, b で詳細に検討されることになる。



## 才2章 周辺視に於ける明るさの精神 物理学 (I)

本章では、明るさの直接尺度構成法の代表的手法の1つである S. S. Stevens のマグニチュード推定法(以下MEと略す)に關してその方法論的問題点を検討し、併せて、定数測定法(閾値測定)との關連について検討する。

### 2・1 明るさのベキ法則とベキ関数

前章 1・6 で述べたように、ヒトの視覚系はその靜特性に於て、110 dB 前後のダイナミック・レンジを有し、この広い範圍の輝度に有効に順応し得る機能を有するといわれ

る (Mansfield, 1974, 1976)。 観察者に、ある輝度をもつ刺激の惹起する主観的明るさをモデュラス刺激 (レフアレンス刺激) の明るさに対する比としてマグニチュード推定法 (ME) を用いて報告させると、明るさの評価量は次のべき関数で表わすことができる (Ekman, 1958; S. S. Stevens, 1960, 1975; Marks, 1974) :

$$\psi = k \cdot \phi^{\beta} \quad \text{————— ①}$$

或いは、

$$\psi = k \cdot (\phi - \phi_0)^{\beta} \quad \text{————— ②}$$

但し、 $\phi > \phi_0$

ここで、 $\psi$ ,  $k$ ,  $\phi$ ,  $\phi_0$  及び  $\beta$  はそれぞれ、明るさの評価量、モデュラス刺激の大きさによって決まるスケーリング定数、刺激の

輝度、閾値、及びベキ指数を示す。  $\beta$  や  $\phi_\alpha$  には個人差があるので (Marks & J.C. Stevens, 1966)、その値の推定はより正確には、 $N$  人 (通常 10 人前後) の明るさ評価量の幾何平均値  $\bar{\psi} = \left( \prod_{i=1}^N \psi_i \right)^{1/N}$  と  $\phi$  (或いは  $\phi - \phi_\alpha$ ,  $\phi > \phi_\alpha$ ) を両対数軸上にプロットして  $\beta$  を勾配とする直線を得る (印東, 1977) (但し、 $\phi_\alpha = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \phi_{\alpha i}$ ,  $\beta = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \beta_i$ )。

さて、ME ではモデュラス刺激を用いる場合はその刺激の輝度が惹起する明るさに、例えば「10」という数値を仮に付与して、観察者にこれをもとにして任意の変化刺激の引き起こす明るさを比率の形で報告させる訳であるが、ここに ME の方法論的問題が生じることになる。明るさのみならず他の感覚モダリティーでのベキ法則の成立の可否については理論的観点からその consistency に疑問がもたれたり (Poulton, 1968; Piéron,

1969; Savage, 1970; Watson, 1973; Anderson, 1974)、観察者の emission of "number" words にそのまま演算を施すことに対する批判 (Graham & Ratoosh, 1961; Graham, 1965, p. 73; Oyama, 1968) 等があり、問題点も多い。また、個人の観察者について、しばしば  $\beta$  がベキ法則から外れる値を示す事実をもとに個人レベルのベキ法則の妥当性を問題にする研究者もみられる (Jones & Marcus, 1961; Pradhan & Hoffman, 1963)。

確かにナイーヴな観察者に ME の判断を課した場合、 $\beta$  はある程度のバラツキを示すが、精神物理学的判断 (特に ME 判断) に習熟した観察者の場合はバラツキの非常に少ないベキ関数パラメタの推定が行なえ、個人レベルでのベキ法則の成立も確認されている (Mansfield, 1976)。また、入力刺激のパラメタに対応した  $\beta$  の変化の微細構造を推

定することも可能である。Graham (1965) の言う emission of "number" words が 観察者固有の言語的枠組を介して如何なる "数" 詞の尺度に変換されるのか、またその変換法則は 1-stage の単純ベキ変換なのか 2-stage 以上のベキ変換、或いは他のフェヒナー流の対数変換が含まれているのかを推定することは困難な問題であり、将来に残された問題といえよう。また、精神物理学の変換法則が対数関数であっても、判断の結果にはベキ法則があてはまることも可能性として考えることができ、ME の言語評価と入力刺激の判断過程の理論的解釈とデータによるその過程の決定にはまだ問題が残されているといえる (Warren, 1958; 柿崎, 1959, 1974; Treisman, 1964)。

とにかく、観察者固有の言語的枠組を介したベキ法則を transduction 的な仮説 (Mansfield, 1976) と関連づけることの内容的妥

当性に対する批判は多いが (e.g. Krantz, 1972)、しかし、本論ではベキ関数を、方法的、内容的に感覚器の transducer としての behavior を「オ1近似的」に記述し得るものとして用いる。向題臭をハッキリ承知の上であればあえて言語報告をそのまま数量化することも許されてよいだろう (柿崎, 1968, p.265; 1974, p.73-100)。

また、S. S. Stevens はベキ法則が言語系ではなく感覚系の特性を反映している根拠として、クロスモダリティー・マッキングで得られる勾配が両モダリティー固有のベキ指数の比となることをあげている。その他、MEで得られたベキ関数がマッキング実験や反応潜時を用いた実験 (潜時ベキ関数: オ5章以下を参照) でも同様に成立することから (Aikin, 1973; Mansfield, 1973; 苧阪, 1977b) MEは感覚系の特性をよく反映していると考えてよいと思われる。

さて、ベキ指数 $\beta$ は十分に広いダイナミック・レンジをとった場合、暗順応で、視角 $5^\circ$ の白色光を1 sec 呈示する条件では明るさ $\phi$ は輝度 $\phi$ の立方根関数、即ち、 $\beta = 1/3 = 0.33$  となる（明るさの標準ベキ指数）ことが知られている（S. S. Stevens, 1975）。

また、2次的にはベキ指数 $\beta$ は順応条件（Onley, 1961; J. C. Stevens & S. S. Stevens, 1963; Aiba & S. S. Stevens, 1964; Marks, 1968, 1976）、刺激の大きさやスペクトル特性（Marks, 1971; Mansfield, 1973; Osaka, 1975）、さらに、呈示時間（J. C. Stevens & Hall, 1960; Aiba & Stevens, 1964; S. S. Stevens, 1966; Mansfield, 1973; Osaka, 1977a, 1978a）等の効果を受けて変化することが知られている。

## 2・2 バキ指数とダイナミック・レンジ

明るさのバキ関数の基本的な意義は、「明るさ感覚の大きさ——マグニチュード——の変化の仕方を記述する」ことにある。そして、明るさのバキ関数パラメタの中でもバキ指数 $\beta$ は明るさの変化の仕方を最もよく反映しているのである。

前節2・1で述べたように入力刺激のダイナミック・レンジ( $\phi_{\max} / \phi_{\min}$ )は光刺激の場合は約110 dB (約10対数単位)あり、典型的な $\beta$ の値は $\beta = 0.33$ である。電気ショック(指先に微少電流を通電する)の場合は $\beta = 3.5$ となり $\beta$ の値と逆比例してダイナミック・レンジは小さくなる。つまり、感覚の大きさは $\beta < 1$ なら圧縮され、



$\beta = 1$  ならそのままの大きさ（線型過程）、さらに  $\beta > 1$  なら増幅されていることを物語っている。光に比べて電気ショックのような生体に直接的危害のある刺激に対しては、その感覚の変化の仕方を急激にすることにより環境から生体を防衛しているともいえる。

このように、一般に  $\beta$  とダイナミック・レンジの大きさの相補的な特性は、非常に興味深い意味を内在させているといえる。従って、もし周辺視に於ける  $\beta$  の値が中心視のそれより系統的に増大したり減少した場合、それは「明るさの感覚の大きさが中心視と周辺視では異った変化の仕方をする」ことを意味している。

## 2・3 周辺視に於ける明るさのベキ関数の 2つの関数型について

前節 2・1 で示した①式及び②式は同じベキ関数であるが検出閾 ( $\phi_0$ ) という定数 (additive constant) の処理の仕方について2つの方法があることを示している。①式は S.S. Stevens が初期の研究に於て用いたもので最も基本的なベキ関数の型を示している。次に②式は Ekman (1958) や S.S. Stevens (1960) によつて用いられたものである。閾上データからの外挿によるグラフ的推定によつた場合の検出閾  $\phi_0$  の意味づけについては閾値近傍での両対数紙上での直線の下へ凹型のカーブを補正するための単なる mathematical device と解釈する立場から、何らかの生体内ノイズのパラメタを反映する定数項であるという立場までいろいろとその解釈が存在し (Marks & J.C. Stevens

, 1968) その解釈はむつかしい。しかし、以下の実験では、 $\phi\alpha$  はグラフ解法的には推定せず、定数測定法で測定した「検出閾」と定義することにする(検出閾については本節 2・3・2 を参照)。

もし  $\beta$  が同一値をとる場合、厳密には①式と②式では関数の型が異なる訳であるから、明るさの変化の仕方は(特に閾値近傍で)異なると考えるべきであるが、本論では①式と②式は本質的には同じ構造を有しており、閾値データも一般的なベキ関数の中で同時に記述する必要がある場合にのみ②式がその記述に適しているものと考えることとする。

### 2・3・1 ベキ関数(I)

前章 1・8 で述べたように、閾値と視野の

関係を検討した研究は多いが、閾上刺激の輝度が増加してゆくと、明るさがどのように変化してゆくかを視野との関連性に於て検討した実験は非常に少ない。

ところで、明るさの変化の仕方を観察するにはそれぞれの閾上刺激の輝度が惹起する明るさの評価量をデータとして  $\log\text{-}\log$  plot してベキ指数を各呈示視野毎に推定すればよいわけである。

もし、使用する刺激輝度の最も低い輝度レベルが閾値（或いは背景順応光の輝度レベル）より約 10 dB 以上離れていれば (Marks, 1966) データ点は  $\log\text{-}\log$  plot してもほとんど直線上に並ぶことが多く閾値の影響はほとんど受けないことが確認されている。従って、このような十分に閾値レベルより上の閾上刺激を変化刺激にとればベキ関数は①式の型で十分に近似できる (Marks, 1966,

1968; Ekman & Gustafsson, 1968)  
。 即ち、

$$\psi = k \cdot \phi^\beta \quad \text{——— ①}$$

それぞれの記号の意味は本章 2・1 で述べた  
如くである。 ここでは①式の  $\beta$  や  $k$  が中心  
視と周辺視では異なるかどうかが問題となる。

### 2・3・2 ベキ関数(Ⅱ)

しかし、ベキ指数は閾上の変化刺激の使用  
範囲が狭く、またその範囲内に閾値近傍の刺  
激輝度を含んでいるほど若干大きく推定され  
る傾向がある (Poulton, 1968; 柿崎,  
1974)。 従って、前節で述べたようにも  
し ME 実験に使用する輝度レベルが閾値より  
十分に大きければ (約 10 dB ほどの差があれ

ば) ベキ関数は①式で近似できるが、閾値の影響の現れる所では  $\log\text{-}\log$  plot では下に凹な曲線となる (Marks, 1966, 1968; Marks & J. C. Stevens, 1968)。

即ち、両対数表示では実験データは閾値近傍では①式から下方へズレてプロットされるので、関数近似上の問題から、閾値修正項(或いは検出閾)  $\phi_*$  を挿入したのが②式である。

$$\psi = k \cdot (\phi - \phi_*)^\beta \quad \text{--- ②}$$

$$(\phi > \phi_*)$$

これは、 $\phi$ 次元上での操作であることから  $\phi$ -translation (Marks & J. C. Stevens, 1968) と呼ばれている。さて、 $\phi_*$  は必ずしも定数測定法による absolute threshold や effective threshold (S. S.

Stevens, 1960) と解釈する必要はなく、  
 ここではより広義に ME 尺度構成の過程で他の  
 の閾上変化刺激の文脈効果 (順応効果等)  
 を多少とも受ける検出閾, detection  
 threshold (Ekman & Gustafsson,  
 1968) と考える [また、従来、ME では  
 $\psi = 0$  に対応する  $\phi$  は explicit には与えられ  
 ていないので、グラフ解法的な guess  
 work で  $\phi_*$  を近似することも多い (Ekman  
 , 1961; J. C. Stevens & S. S. Stevens  
 , 1963) ]。

① 式が十分閾上レベルにある変化刺激に対  
 して適用されるベキ関数であるのに対して、  
 ② 式は閾値データと閾上レベルの変化刺激の  
 間の明るさの変化の仕方をも記述する関数型  
 であるといえる (前章 1・8 参照)。 周辺  
 視に於けるベキ関数は呈示視野が変化すると  
 $\phi_*$  も変化するので、閾値データと閾上デー

タの等感曲線を比較する時に②式は有効に適用されることになる(実験 VI a, b 参照)。

## 2・4 周辺視に於ける明るさの等感曲線 (Equal Brightness Contours)

①式、或いは②式によつて各周辺視野で求めたベキ関数群のパラメタを利用して、明るさの等しい曲線を構成することができる。

$\psi_{p1}$ ,  $\psi_{p2}$ , 及び  $\psi_f$  をそれぞれ任意の2ヶ所の周辺視と中心視での評価された明るさとする、 $\psi_{p1} = \psi_{p2} = \psi_f$  となるような輝度  $\phi$  を各視野毎に求めてやると各周辺視野及び中心視野で刺激が等しい明るさにみえるための  $\phi$  の量が比較できて都合がよい。さまざま刺激条件下で  $\psi_p = \psi_f$  が成立する



の必要とされる $\phi$ の量の推定は、各視野で求めたベキ関数を用いてグラフ的に各視野条件で求めるか（通常の  $\log\text{-}\log$  plot で任意の criterion の明るさレベルで各視野のベキ関数を横切るように横軸と平行な線を引き、その線と各ベキ関数との交点から横軸（輝度軸）に垂線を下ろして、必要とされる輝度の量を読みとる）、或いは、②式から、

$$\phi = \left(\frac{\psi}{k}\right)^{1/\beta} + \phi_t \quad \text{—————} \textcircled{3}$$

$$(\phi > \phi_t)$$

によつて求めることができる。  $\psi_p = \psi_f$  となる輝度 $\phi$ の値（dB 値）が視野の関数となるように描いた曲線は明るさの等感曲線（Equal Brightness Contours）といわれ、この曲線上にある輝度は各視野で等しい

明るさを惹起する。この明るさの等感曲線の形状が各周辺視でのバキ指数や検出閾の影響を受けて複雑に変化することを利用すると周辺視に於ける明るさ受容機構がより明確に抽出できる(実験Ⅰ～Ⅵ参照)。

## 2・5 周辺視に於ける明るさのバキ指数を規定する要因

周辺視に於けるみかけの明るさは次のような刺激のパラメタによって変化することが分っている。即ち、

- (1) 刺激の輝度
- (2) 刺激の面積
- (3) 刺激の呈示時間
- (4) 刺激の背景順応光(暗明順応)

## (5) 刺激のスペクトル特性

これ以外にも、2次的には序論 1・4 であげた問題点が関与してくることになるが、その影響は上記の刺激パラメタの寄与に比較すれば比較的小さいものと考えられる。これらの要因のうち、(1) はベキ関数を求める以上できれば  $3\text{-log units}$  以上の幅が安定した  $\beta$  を求めるためにも必要とされよう。また、(5) は (2) ~ (4) の要因が周辺視でどのような効果をもつかを白色光で検討した上で問題にすべき要因と考えられる。従って、次章では (2) ~ (4) の要因が周辺視に於ける明るさ知覚に如何なる影響を及ぼすかを中心に検討する。

### 第3章 周辺視に於ける明るさ受容機構 のベキ関数による検討

S. S. Stevens やその後継者が対象とした研究課題は、明るさのベキ関数については、中心視のそれが問題にされることが多かった。しかし、周辺視に於ける個々の刺激パラメタのベキ関数パラメタに及ぼす影響を検討したものは非常に少ない。これは、序論 1.4 で述べた方法的困難性にもよっているが、呈示視野の効果を一つの explicit な変数 (Drum, 1976b) として意識していなかったことによるところが大きいと考えられる。

周辺視で閾上刺激について尺度構成を行なった研究は Marks (1966, 1968, 1971) の一連の実験, Pöppel & Havey (1973) の実験, 及び Drum (1976b) の実験が、さらに、本邦では相場 (1967) の実験があげられるのみである。

これらの研究は、いずれも周辺視に於ける面積効果、順応効果、さらに閾値との関係をべき関数を適用して検討したものであるが、その結果は研究者間で一致せず、従って、周辺視に於ける明るさ受容機構を推定し得たとは言えない。

一方、刺激の呈示時間が、周辺視の明るさ知覚に及ぼす効果を、系統的に検討する研究はなされてない。

そこで、次に、諸家の研究を概観し、周辺視に於ては、如何なる刺激パラメタが、べき関数パラメタにどのような効果を及ぼすかを検討する。

### 3・1 Jameson の実験

Dorothea Jameson (1965) は、序章1・8で述べた問題、即ち、閾値レベルで働いて

いる明るさの規定因が、閾上値でも等価に作用していると考えらることは問題があることを示唆した。Jameson は、ほぼ暗順応に近い条件で、中心視と  $7^\circ$  と  $14^\circ$  の周辺視（水平径線上耳側網膜部位）に於て、閾値（恒常法）と閾上値の明るさ（ME法）を検討した。

刺激の呈示時間は、10, 50, 100, 500, 1000 msec, 大きさは視角  $2^\circ$  であった。閾値は、中心視では 500 msec, 周辺視（ $7^\circ$ ）では 1000 msec で最も小さく、呈示時間が短くなるにつれて漸増した。但し、中心視では 1000 msec では逆に少し増加した。

閾上レベルでは、1眼に中心視でモデュラス刺激が呈示され、それに続いて他眼にテスト刺激が呈示され、幾何平均値がとられた。

結果は、周辺の  $7^\circ$  と  $14^\circ$  では余り差がなかったが、中心視の明るさは周辺視より常に暗く（感受性が低く）、その差は、特に刺激輝度の低い場合に大きく、高い輝度の場合には

非常に小さかった。

また、Jamesonは、ベキ指数そのものは求めてはいないが、中心視では周辺視より  $\log - \log$  plot では勾配が急になることを見出し、高輝度では "brightness recruitment" により、前述の中心視と周辺視の明るさの差が小さくなることを示唆した。興味深いことには、呈示時間が短くなると、中心視の勾配が大きく推定される傾向があることが分る。

この実験で、Jamesonは、阈上刺激に対える明るさの変化の仕方は、阈値データを単に全輝度範囲にそのままの型であてはめることができること、即ち "... the relative visual efficiencies determined at threshold will be valid throughout the whole intensity range ..." という考え方が正しいことを示唆した。

尚、中心視で勾配が大きくなる現象、或いは呈示時間が短くなると中心視の勾配が大きく

なつてゆく傾向については、実験Ⅲa, b  
で、さらに呈示時間毎にベキ指数を算出して  
検討する。

### 3. 2 相場の実験

相場 (1967) は、「近年に至り、視覚系の  
最も末梢の部分を構成する光受容器 (桿体及  
錐体) の解剖学的、生理学的な知見は著る  
しく広げられたが、明るさの感覚を、その全  
力動範囲にわたって説明し得るようなメカニ  
ズムは未だ不明と、いってよい」と述べ (p  
406), その解明のため、桿体と錐体の密度  
の最も高い  $20^\circ$  周辺視と中心視の明るさ受容  
機構を、マッチング実験によって検討した。

オ 1 実験を中心にみると、中心視刺激の輝  
度は  $35 \sim 105 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の範囲で変化  
でき、また、周辺視刺激 (白色光と共に、赤  
色光  $645 \text{ nm}$  も用いられた) は、 $45 \sim 105$



dB まで 10 dB ステップで変化できた。観  
察者は、完全暗順応後、継時的 (500 msec  
間隔) に呈示される 250 msec の周辺と中心  
視刺激の明るさを、中心視刺激の輝度を調整  
することによりマッチングした。

結果は、周辺視刺激が赤色光の場合は、中  
心視と周辺視の明るさは、全輝度範囲に渡っ  
て変化しなかったが、白色光の場合は、中心  
視刺激が周辺視刺激よりも約 10 dB 高くばい  
と、明るさがマッチングしなかった (つまり  
、同じ輝度では  $20^\circ$  周辺の方がかなり中心よ  
り明るく見えた)。

そして、この傾向は、85 dB まで認められ  
たが、それ以上の輝度では、中心視と周辺視  
の差は減少した。これは、Jameson (1965  
) のデータの傾向と一致する。

相場 (1967) は、ベキ指数は求めていない  
ので、その明るさの変化の仕方は分らない。  
しかし、彼は、結論として、周辺視に於ける

明るさの感覚は桿体により司られていると推定した。

### 3.3 Marksの実験

#### 3.3.1 Marks (1971)の実験データ

Marks (1971) は、暗順応下で、 $49 \sim 96$   $\text{dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の範囲で刺激輝度を6段階に変化させた系列刺激の明るさをMEで判断させ、ベキ指数を求めた。

観測者は12名、1データ点について24評価値の幾可平均をとり、中心視と $12^\circ$ 、 $20^\circ$ の周辺視（左眼右水平径線上視野）でベキ関数を求めた（但し、適用された関数型は、 $\phi = k(\phi^\beta - a)$  であった。）。

刺激の変化パラメータは、面積（視角 $0.2^\circ$ 、 $0.4^\circ$ 、 $0.6^\circ$ 及び $1.0^\circ$ の4種の大きさの異な

る刺激を 500 msec 呈示)であった。

実験の結果、輝度が一定の場合、周辺視に於ては刺激は中心視より明るく観察されたが、これは Jameson (1965) 等の実験結果と符合するものであった。

しかし、ベキ指数は、周辺視  $12^\circ$  と  $20^\circ$  では差はなかった。即ち、周辺視ではベキ指数はそれぞれの刺激に対して、 $0.21 (0.2^\circ)$ ,  $0.18 (0.4^\circ)$ ,  $0.20 (0.6^\circ)$ ,  $0.22 (1.0^\circ)$  であり、中心視では  $0.21 (0.2^\circ)$ ,  $0.20 (0.4^\circ)$ ,  $0.22 (0.6^\circ)$ ,  $0.25 (1.0^\circ)$  であった (Marks, 1971, p.27)。いずれの面積条件でも、輝度が上昇すると、明るさは中心視でも周辺視でも (周辺視で少し明るく判断されるが) あまり変らなくなるが、低輝度条件にするほど、周辺視の方がより明るくみえた (周辺視/中心視の明るさの比が増大した)。そして、明るさと視野との関係は、刺激の面積によって幾分異なるが、面積が増

大すると明るさが系統的に漸増することではなく、また、ベキ指数の値も、前述の如く、系統的な変化は示さなかった ( Marks, 1977, personal communication )。

この実験で、Marks のベキ指数 値が全て 0.33 以下であるのは如何なる原因によるのか不明である。 呈示時間や刺激の大きさ、standard brightness exponent の条件 ( 1-sec 以上かつ視角  $5^{\circ}$  以上 ) よりかなり短く ( 従って、Broca-sulzer 効果が混入する可能性も考えられる )、また小さいから、通常は、S. S. Stevens のモデル ( 1975 ) からいえば、0.33 より大きな指数を得るはずである。

他方、Marks ( 1971 ) は、才え実験で、刺激のスペクトル特性を白色から赤 ( 主波長 650nm ) と紫 ( 主波長 450nm ) に変化させた場合のベキ指数を、同様に中心視と周辺視 ( 12

と $20^\circ$ )で算出している。なお、明るさをヘテロクロマティク・マッチングで等しくした他は、刺激呈示条件は白色光の場合と同じであった。

実験結果、赤色光では、中心視で0.31、周辺 $12^\circ$ で0.34、 $20^\circ$ で0.37、また、紫色光では、中心視で0.28、周辺視で0.23( $12^\circ$ 及び $20^\circ$ で)という値を得ている。

ここで特に、赤色光の場合には、指数値が比較的大きく、また、周辺へゆくほど漸増している事実は重要であると思われる。Marksは、この事実は、基本的には、赤色光の明るさ処理が錐体機構で行なわれているためであるとした。

この実験で適用されたベキ関数は、本質的には②式と同じものである。また、 $\phi$ は測定されていないが、49 dB付近では、ベキ関数は、やはり、下に凹型の型を示している

( p. 27 )。

### 3. 3. 2 Marks (1966) の実験データ

前述の実験と前後するが, Marks (1966) は, 1971年の実験とほぼ同様の実験を,  $60^\circ$ までの周辺視で検討している。

刺激輝度は,  $50 \sim 100 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ の範囲を  $10 \text{ dB}$  ステップで 6段階に変化させ, その系列刺激の明るさを, 暗順応後に, M E と マッチングで評価させ, 周辺視のベキ関数を求めた。なお, 刺激の呈示時間は  $500 \text{ msec}$ , 大きさは  $1^\circ$ であった。観察者は刺激を右眼水平径線上左視野  $0^\circ, 5^\circ, 12^\circ, 20^\circ, 35^\circ, 60^\circ$ の周辺視と中心視で観察した。

観察者は12名, 1データ点について, 24評価値の幾何平均値をとった。また, この M E 実験では, 1セッション毎に, 中心視と各周辺視野でのベキ関数が, 最小二乗 近似に

より求められた。

周辺視野 ( $5^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $60^\circ$ ) の場合の、中心視でのベキ指数はそれぞれ 0.28, 0.31, 0.28, 0.29, 0.27 ( 各周辺視条件ごとに中心視ベキ指数を求めた。尚、この平均値は 0.286 となる ) であり、周辺視ではそれぞれ、0.30, 0.32, 0.29, 0.28, 0.25 であった。 Marks は、1971年の実験と同様、ベキ指数は視野とは独立であることを示唆した。 また、同じ輝度の惹起する明るさは、周辺視の方が明るく、特に  $20^\circ$  周辺視の場合はその差は約 3.4 dB あった。

次に、マッティング実験では、左眼、右眼でそれぞれ周辺、中心刺激を観察した。 大きさ  $1^\circ$  の刺激は、中心・周辺に 750 msec 同時呈示され、6人の観察者は、試行の半期では中心視刺激の明るさを周辺視刺激の明るさに、あとの半期ではその逆の仕方でマッティ

グした。マッティングすべき輝度は  $50 \sim 90$  dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の範囲で、10 dB ステップで5段階に変えられた（尚、1データ点は18のマッティング値の幾何平均値をとった）。

結果は、マッティングデータも、MEデータと同様の構造をもつべき関数で近似できることが確認された。

また、この場合も、指数は、中心と周辺では差が認められなかった。

最後に、Marks は、マッティング実験の観察者のうち8名について、絶対光覚閾を、ステアケース法（2.5 dB ステップ、15 reversals で打切り。呈示時間は 750 msec）で求め、20° 周辺視で最も低い値を得ている（観察者 MK では 24 dB、観察者 BB では 23 dB）。

また、閾値は、全体としては、中心視で最も高く（約 50 dB）、20° から 60° へと周辺になるにつれ漸増した。



ME と マッティングのデータを利用して、明るさの等感曲線を描いたところ、Marks は次のように傾向を確認した。：“ --- as the stimulus moves away from the fovea, the luminance necessary to keep a constant brightness becomes less than at the fovea.” (p. 340)

この図上の明るさの等感曲線群は、ほぼ相互に平行な曲線の形状を示しているが、ここに閾値データをプロットしてみると、 $20^\circ$  周辺で、中心視と  $20\text{ dB}$  の差をもつ上に凹型の曲線が形成される。

これは、図上曲線群とは全く異なった形状を示しているが、Marks は、この形状の相異については、単に，“ the absolute threshold contour is only one of an infinitude of equal-brightness contours that can be constructed --- (p. 340). ” としか評価していない。

これには Marks が、暗に閾値曲線を明るさの等感曲線の一種とみなしていることを示唆しているが、閾値曲線をそのように解釈することには、いくつかの疑問がある。

閾値曲線とベキ指数の周辺視に於ける係わり合いには複雑なものがあり、この点については、序論 1.8 でふれた問題と関連して、後に実験 VI で検討することになる。

### 3.3.3 Marks (1968) の実験データ

Marks (1966, 1971) は暗順応下での検討であったが、Marks (1968) は、53, 63, 73, 83 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の各明順応下で、ベキ指数を求めた。

ME を用いて、中心視, 5°, 12°, 20°, 35°, 60° の左眼水平経線上右視野で、視角 1° の刺激を 59 ~ 99 dB (53 dB 明順応条件), 69 ~ 109 dB (63 ~ 83 dB 明順応条件) に変化

させたものを 1 sec 呈示した。半円形の彎曲させた白色ケント紙上 ( $130^\circ \times 70^\circ$ ) には、その上部から蛍光灯の光が投射され明順応面を作った。20名の観察者は順応面を30秒間見ることにより、前回の明順応レベルに順応した後、1 sec のテスト刺激（この間は明順応光は消去）の明るさを評価した。さらに、同様の4種の明順応条件下で、絶対閾がステアケース法（2 dB ステップで刺激を変化、15 reversals で打ち切り、観察者は4名、呈示時間はMEの場合と同様）で求められた。MEの場合は、1データ点について、20の評価値の幾何平均値がベキ関数で最小二乗法的に近似された。

ベキ指数は、呈示視野により、或る程度変化する傾向は認められるが、その変化の仕方は系統的でなく、*"the exponent appears to remain fairly constant with change of retinal locus for a*

given level of light-adaptation" (p. 528) であつた。

即ち、53, 63, 73, 83 dB明順応条件下ではそれぞれ、中心視(0.31, 0.27, 0.25, 0.27),  $5^\circ$ (0.30, 0.24, 0.27, 0.25),  $12^\circ$ (0.31, 0.26, 0.26, 0.26),  $20^\circ$ (0.32, 0.29, 0.28, 0.28),  $35^\circ$ (0.34, 0.28, 0.29, 0.28),  $60^\circ$ (0.33, 0.28, 0.29, 0.24)であつた。

Marks の筆者への私信では、 $5^\circ \sim 60^\circ$ ではいずれの順応条件でも、ベキ指数は周辺ほど8~17%程度漸増傾向を示しており、これらの傾向は "possibility of a real effect" (Marks, 1977, June, private communication) を示唆しているとしている。

Marks (1966, 1971) の暗順応データと最も異なる点は、明順応下では暗順応下とは逆に、所与の輝度をもつ刺激は、中心視で最も明るく見え、周辺視になるほど明るさが連続

的に減少してゆく事実であった。そして、この減少の比率は、順応レベルが上昇するほど大きかった。

次に、閾値データは、4名の平均値（筆者が算出）は、53, 63, 73, 83 dB 順応条件下、中心視,  $5^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $35^\circ$ ,  $60^\circ$  周辺視のそれぞれの条件で、(46  $\searrow$  38  $\nearrow$  41  $\nearrow$  45  $\nearrow$  46  $\nearrow$  48 dB), (49  $\searrow$  44  $\nearrow$  47  $\nearrow$  51  $\nearrow$  54  $\nearrow$  55 dB), (51  $\nearrow$  52  $\nearrow$  56  $\nearrow$  58  $\nearrow$  61  $\nearrow$  64 dB), (57  $\nearrow$  59  $\nearrow$  61  $\nearrow$  62  $\nearrow$  67  $\nearrow$  71 dB) であった（ $\nearrow \searrow$  はそれぞれ閾値の増減を示す）。53 と 63 dB の順応下で、周辺  $5^\circ$  で閾値が最小になっている以外は、全ての条件で、中心視で閾値は最も低く、周辺へ行くほど 10~14 dB 増加していることが分る。

一般に、順応輝度が上がる程、ベキ指数と閾値は漸増し、スケーリング定数は漸減することが知られているが (e.g. Onley, 19

61; J.C. Stevens & S.S. Stevens, 1963), Marks のこの実験では、指数の値が約20%ほど小さい。Marks は、この原因を、ME がしばしば指数を小さく推定しがらであることにその理由を求めている。

さて、感上の明るさ等感曲線と感値曲線を比較すると、暗順応条件の場合と異なり、73~83 dB では両曲線はほとんど平行移動可能な類似の形状を示した（但し、58~68 dB 条件では、感値曲線は5°で5~10 dB 下がり、異った形状を示した。）。

以上、Marks の一連の実験をみると、暗順応下と明順応下では、明るさの現れ方の様相が全く異なり、従って、順応条件が異なると、周辺視に於て明るさを規定している機構が、逆方向へ作用することが推定できる。その具体的な対応者として、Marks は、二重

機能説に於ける桿体系と錐体系機構の寄与を示唆している。

即ち、Marks は、明順応下では錐体機構、暗順応下では桿体機構が主として明るさ感覚を司ると考える。

さて、Marks の一連の実験で、問題となる点は次のことである。

(1) Marks の言うように、両順応条件下で、ベキ指数は本当に視野とは独立 (invariant) なのか。暗順応条件下では系統的ではないが (1971 年の赤色光条件を除いて)、明順応条件下では、ベキ指数が周辺視で漸増する傾向がうかがえるが、この点はどのように考えられるのであろうか。

(2) 閾上値の明るさ等感曲線と、閾値曲線と比較した場合、後者も前者の一種

とみられているのか。

### 3. 4 Pöppel & Harvey の実験

Pöppel & Harvey (1973) は, Marks (1968) のように, テスト刺激呈示時に明順応光を消去せず,  $64 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の明順応光を背景につけてまま ME を用いて明るさを評価させた。右眼耳側水平経線上の周辺視野  $2^\circ \sim 60^\circ$  に; 背景順応光上  $70 \sim 83 \text{ dB}$  ( $1.3 \log \text{ units}$ )  $\text{re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の範囲の輝度を,  $0.1 \log \text{ unit}$  のステップで変化させた13種の刺激を  $200 \text{ msec}$  呈示して, その明るさを評価させた(この呈示時間でも, Broca-sulzer 効果が混入する可能性がある)。観察は Pöppel 自身が1名で行った。また, 中心視野に  $10'$  の大きさの刺激が, 背景光上  $78 \text{ dB}$  の輝度で, 周辺のテスト刺激と同時に呈示され, その中心視刺激は,



50" のモデュラス刺激とされた。1 テーブルについて、10個の幾何平均値が計算された。尚、彼の論文のオ1実験では、同じ明順応条件下で感値曲線がすでに求められている。

さて、ベキ関数が最小二乗法で求められたところ、周辺視  $5^\circ$  と  $30^\circ$  でベキ指数はそれぞれ、最大値 0.62 と最小値 0.42 であつた。周辺視ではこれ以外にも  $2^\circ, 7^\circ, 10^\circ, 22^\circ, 25^\circ, 27^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ$  の13ヶ所でベキ関数が求められているが (p. 155, Fig. 5 から筆者が推定), それぞれのベキ指数は 0.62 ~ 0.42 の間にあるという (論文には、数値は公表されていない)。また、視野とベキ指数の間には、系統的な変化は認められなかったという (p. 154)。さらに、前述の Marks (1968) の類似実験 (順応光 63 clB 条件にあたる) と比較して、最も著しい相異は、感上値の明るさの等感曲線が、視野とは独立であつた点である。即ち、輝

度が等しければ、その明るさは、中心視野でも周辺視野でも、ほぼ等しい明るさにみえた。

次に、閾値データとの比較では、閾上データの明るさ等感曲線と比較した場合、著しい差が認められた。また、Pöppel & Harvey (1973) の閾値曲線は、平均して  $10^\circ$  周辺視になるにつれて  $3\text{ dB}$  も急激に上昇している点が従来のデータと大変異なる（但し、 $10^\circ \sim 38^\circ$  は、ほとんどフラットな、彼等が謂う所の "plateau" 状となっている）。例えば、彼等の明順応条件とほぼ等しい  $63\text{ dB}$  の順応光を用いている Marks (1968) のデータでは、 $10^\circ$  あたり高々  $1.7\text{ dB}$  程しか上昇していない。

従って、これを閾上の明るさの等感曲線との関係でいうと、周辺となるほど両曲線間の差は拡大してゆくことになる。それ故、 $78\text{ dB}$  の閾上刺激の明るさに達するには、周辺  $20^\circ$  ではその閾値を約  $10$  倍しなければなら

ぬのに対して、 $60^\circ$  周辺ではその閾値の約9倍程度ですむという差が生じる。これは、もし閾値の輝度が惹起する「明るさ」が、どの視野でも等しいならば、同じ「明るさ」を得るためには、周辺視になるほどより多くの輝度を加える必要があることを示唆している。

これは、周辺ほど閾値が高くなるためである。ところが、閾上の一定輝度の刺激の明るさは、Marks (1968) のように周辺へゆくほど dimmer にならないで、ほとんど明るさに変化はなかった（フラットな曲線となった）訳だから、この推論は当然予測されるものであろう。

Pöppel & Harvey (1973) は、Marks (1968) のデータとの著るしい相異の原因として、Pöppel & Harvey が、(1) 中心視のモデュラス刺激と周辺視のテスト刺激の同時比較を行わせたこと、(2) 使用輝度の範

間が 1.3 log units (70 ~ 83 dB) と狭かったこと (Marks の場合は 4 log units),  
そして, (3) 順応光を刺激呈示中に消去しなかったことをあげている。しかし, 中でも (3) の要因が, 恐らく最も大きな手続き上の違いである。即ち, Marks (1968) の実験では, 微少ではあっても, 順応光が消去され直後に暗順応状態への回復過程が入り込む可能性が残されている。

しかし, これらの手続き上の相異が, 上述のような著るしい差をもたらすことは考えにくく, また方法的にも吟味すべき点を残していると思われる。Pöppel & Harvey は, 同じ輝度の刺激が誘発する明るさが, 視野で変化しないことを神経節細胞の発火頻度と関係させているが, その根拠については, 未だ推定の域に止まっている。

結局, Pöppel & Harvey (1973) の実験で, 問題となる点は次の如くである。

(1) 阈上刺激に対する明るさの等感曲線が, Marks (1968) では周辺視ほど上昇したのに, Pöppel & Harvey (1973) では、何故、視野の効果を受けなかったのか。

(2) 閾値曲線は, Marks (1968) では、ほぼ「明るさゼロ」の等感曲線となるのに, Pöppel & Harvey (1973) ではそのようにはならなかったのは何故か。

### 3. 5 Drum の実験

Drum (1976b) は, Marks (1966, 1968, 1971), Pöppel & Harvey (1973) や Osaka (1975) のデータと,  $77 \text{ dB re } 10^{-10} \text{ cd/m}^2$  の明順応条件下で, テュービンゲン精密

視野計を用いて再検討した。

Drum (1976b) は、中心視と、 $2^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$  の鼻側水平径線上周辺視野で、閾値曲線と閾上刺激に対する明るさの等感曲線を求めた。閾値は、criterion-free-rating 法により測定した。即ち、 $0.3 \log$  units の範囲で、 $0.1 \log$  unit ステップで変化する4種の刺激とブランク刺激（閾値下約  $1 \log$  unit 下の刺激）を、ランダムに  $1 \text{ sec}$  呈示して閾値を求めた。

また、明るさの等感曲線を求める場合には、中心視刺激（閾上の固定された輝度をもつ）をレファレンスとし、観察者は、周辺の刺激が、中心視の刺激と等しい明るさにみえるようにマッチングした。中心と周辺の刺激は、 $1 \text{ sec}$  同時呈示された。

周辺視刺激としては、 $0.4 \log$  units の範囲内で  $0.1 \log$  unit ステップで変化する5種の刺激が用意された。そして、観察者は（Drum 自身と他の1名）は、その周辺視

刺激が、中心視刺激と比較して、明るい、暗い、等しいかを3件法で判断するよう求められた（明・暗・等 の反応にはそれぞれ、+1, -1, 0 という数値をあてはめた）。

Drum (1976b) には、使用した輝度の値が記されていないが、この実験の特徴は、閾値はともかく、使用された閾上刺激の範囲が、 $0.4 \log \text{ units}$  と大変狭いこと（同じ明順応条件でも、Marks (1968) は  $4 \log \text{ units}$ , Pöppel & Harvey (1973) では  $1.3 \log \text{ units}$  とより範囲が広いことに注意）、さらに、その輝度水準が、大変閾値に近い所で、 $0.1 \log \text{ step}$  で5種のみしか設定されている点である。すなわち、データも、MEによらず（恐らく、このような低輝度で、 $0.1 \log \text{ unit}$  の差しかない刺激では、MEを用いるのは不可能に近いと思われるが）、マッチングに依っている。

1.1° の大きさの刺激で、閾値曲線と閾上

刺激の明るさの等感曲線を求めた結果、データは、本質的には、Pöppel & Harvey (1973) と類似のものが得られた。また、刺激の大きさ  $10'$  に変えた場合の、或いは、赤色光を用いた場合の確認実験でも、同様の傾向が認められた。即ち、面積の効果、或いは、スペクトルの効果はなかった。

次に、彼は、この結果が、視座では呈示視野によって、明るさの変化の仕方が異なるためではないかと考えて、ベキ指数を視野ごとに求めた（中心視の指数を、仮に 0.33 と仮定して、それとの相対的差を周辺視で調べた）。その結果、ベキ指数は周辺になるほど増加し、 $30^\circ$  周辺視では、中心視のその約2倍にもなった。即ち、 $1.1^\circ$  刺激では、 $0^\circ, 2^\circ, 5^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  でそれぞれ、0.33, 0.36, 0.43, 0.45, 0.67,  $10'$  刺激ではそれぞれ 0.33, 0.38, 0.37, 0.48, 0.70 であった（p. 1404）。



得られたデータはほぼ同じだが、Pöppel & Harvey (1973) のベキ指数は視野に対して系統的变化を示さず、Drum (1976b) では系統的变化を示すのは、如何なる原因からであろうか。Drum (1976b) の場合は、MEを用いず、また、閾値近傍の狭い log unit の刺激のマッチングデータから、間接的にベキ指数を算出している点の問題である。特に、閾値上の  $0.4 \log \text{ unit}$  の範囲は、余りに狭すぎ、また、閾値近傍で範囲が狭いほどベキ指数は増大する傾向はすでに指摘されている (Poulton, 1968; 柿崎, 1974) ので、この点にも問題がある。

結局、閾値曲線と閾上刺激に対する明るさの等感曲線が全く異なるのは、ベキ指数の系統的变化による所が大きいと推定される。

また、Pöppel & Harvey (1973) と同様に、Drum の場合にも、閾値曲線は「明るさゼロ」の等感曲線と形成せず、周辺へゆくほど明るくみえることを予測させる。

Drum (1976b) の実験から、問題となる  
点は次の如くであろう。

(1) 明順応下でのベキ指数の周辺視にお  
ける系統的増加現象（視野との非独立  
性）は、従来の研究では見出されな  
かったが、この増加現象は、如何なる意  
味を有するのか。

(2)  $0.4 \log \text{ unit}$  の輝度の範囲で、閾  
値レベルに近く、MEを用いずに、間  
接的に推定されたベキ指数の値は、十  
分の妥当性をもつだろうか。

(3) 面積の効果が、周辺視では認められ  
なかったのは何故か。

## 第4章 実験

実験に先立って、視野とバキ指数、閾値の相互関係を一般的モデルによって検討してみる。周辺視に於て明るさのバキ指数パラメータをMEデータから推定する場合、2章2・3・1及び2で述べたように十分な周上刺激の惹起する明るさに対しては①式、閾値曲線との比較も行いたい場合は②式が適している。

さて、①式を用いる場合はバキ指数と視野が明るさと如何なる関係にあるか(独立的か依存的か、また依存的な場合はその変化は系統的かどうか)が検討でき、②式を用いる場合は、バキ指数、閾値と視野の相互関係が明るさを如何に規定しているかが検討できる。

ここでは、便宜上、①式は②式で $\phi_A = 0$ の場合にあたりと解釈して、バキ指数と閾値の視野への係わり方を4種に分類してモデル

化してみたのが Fig. 1 である。 Fig. 1 の  
オ 1 行はバキ指数( $\beta$ )と閾値( $\phi_k$ )が共に  
視野と独立な場合で、バキ関数はオ 2 列のよ  
うになる(横軸は dB 輝度、縦軸は明るさ評  
価量の対数値。 $\phi_k$  は通常低輝度で下に凹  
型になるがここでは便宜上直線で示した)。

さらに、オ 3、4 列はこのバキ関数から構  
成された明るさの等感曲線(実線)と閾値曲  
線(破線)が暗順応、明順応下条件で示され  
ている。横軸は視野(1, 2, 3 の順で周  
辺視野への移行を示す)、縦軸は dB 輝度を  
示す。 $\beta$  も  $\phi_k$  も視野と独立の場合は明る  
さの等感曲線も閾値曲線も完全に平行となる  
。オ 2 行目とオ 3 行目は  $\beta$  と  $\phi_k$  がそれぞ  
れ視野と独立な場合とそうでない場合の組合  
わせを示す( $\beta$  は仮に視野と共に増加すると  
仮定してある)。さらに、オ 4 行目は  $\beta$  も  
 $\phi_k$  も視野と独立でない場合を示す。明る  
さの等感曲線をみると  $\beta$  が独立である限りは  
、等感曲線間でも閾値曲線でも相互に平行移

動した形状になっているが、 $\beta$ が変化(独立でない)すると、それらの関係が成立しないことを示している。但し、順応条件が変化すると勾配は逆方向になる場合がある。それぞれのケースにFig. 1 に示すように1～8のケース番号をつけ分類しておく。以下の実験では、データに①式、②式のいずれを適用する場合にも上述のモデルを参考にして論ずることとする。

#### 4・1 周辺視の明るさバキ関数に及ぼす面積の効果

##### 4・1・1 実験I

##### 目的

閾上レベルでは Marks (1971, 視角  $0.2^{\circ} \sim 1.0^{\circ}$ , 暗順応) や Drum (1976b, 視角  $10'$  と  $1.1^{\circ}$ , 明順応) は面積効果が周辺視では中心視と変わりのないことを報告している。しかし、閾値レベルでは刺激の大きさが  $5^{\circ}$  までは面積効果は周辺視では中心視より大きいという報告(序論 1・5・1a 参照)がある。また、Marks や Drum の使用した刺激の大きさは全て約  $1^{\circ}$  以下で、しかも 1 名もしくは数名のデータであり、再検討の必要があると思われる。そこで、ここでは、閾上刺激を用いて面積の効果を検討する。

尚、本データは Osaka (1975) により(詳細は副論文参照)、またデータの近似には①式を用いた。

## 観察者

観察者は ME に習熟した院生 12 名であっ

た。

## 手続

半球面投射視野計(半田屋製, HE-130)に、その内蔵光学系を通して視角  $15'$ ,  $30'$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  の刺激を視野計の白色( $\text{MgO}$ )投射面に投射した。使用した輝度の範囲は  $61 \sim 86 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  で、この中から6種の刺激を  $0.5 \log \text{ units}$  で変化させたもの( $61, 66, 71, 76, 81, 86 \text{ dB}$ )を用いた。輝度の減衰は Kodak Wratten No. 96 ND フィルタによった。検討された視野は、中心視( $0^\circ$ )と  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $80^\circ$  の右眼水平径線上耳側視野であった。観察者は視野計半球面から  $30 \text{ cm}$  の距離からあご固定台を用いて  $2 \text{ sec}$  呈示される白色光の明るさを判断した。10 分の暗順応後、観察者はランダムに呈示される刺激の明るさ

を、中心視、 $1^\circ$ 、76 dB の刺激の明るさをモデュラス（" 50 "）として判断した。呈示は継時比較によった。

## 結果・考察

最小2乗法によって求めたベキ関数を Fig. 2A, B に、また等輝度曲線を Fig. 3A, B にそれぞれ示す。パラメタは呈示視野で、 $\beta$ 、 $K$ 、 $R^{**2}$  はそれぞれ、ベキ指数、スケーリング定数、決定係数を示す。ベキ指数は  $15'$  刺激では、中心、 $20^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $80^\circ$  の順にそれぞれ、0.58, 0.60, 0.58, 0.57, 0.57、 $30'$  刺激ではそれぞれ、0.51, 0.52, 0.52, 0.48, 0.54、 $1^\circ$  刺激ではそれぞれ、0.42, 0.44, 0.46, 0.42, 0.44、さらに  $2^\circ$  刺激ではそれぞれ、0.38, 0.35, 0.36, 0.36, 0.37 であった。



刺激面積が減少するとどの呈示視野でもバキ指数は漸増し（約0.07ステップ）、スケーリング定数は漸減した。Fig. 3A, Bからも読みとれるように、面積効果は特に低輝度レベルで大きく、高輝度レベルで小さいことが分る。指数は $5^\circ$ の0.33から点光源の約0.50まで刺激面積の減少と共に漸増してゆくというS. S. Stevens (1975)のモデルとよく一致している。

次に、視野とバキ指数の関係をみると、 $15'$ 、 $30'$ の小面積刺激では明るさのバキ指数は視野に対して系統的な変化を示さなかったが $1^\circ$ 以上の刺激ではバキ指数と呈示視野の間に何らかの依存関係が存在してくるようである。即ち、大きさ $1^\circ$ の刺激では、中心視から周辺視になるほど、やや漸増傾向をみせるのに対し、 $2^\circ$ 刺激では、中心視から $20^\circ$ 周辺で減少し、さらに $80^\circ$ までは漸増傾向を示している。この点はさらに検討の要があるう。

次に Fig. 4, 5 にそれぞれ、明るさの等感曲線と刺激の大きさの関数としての明るさ等感曲線を示す。15' 刺激では、周辺ほど暗くみえるのに対して、30' ~ 120' ( $2^\circ$ ) の刺激では、刺激の大きさが増大するほど、周辺で明るくみえることを Fig. 4 は示している (図中のパラメタの数字は criterion の明るさを示す。例えば、"10" は "10" という明るさにみえるために必要とされる輝度の dB 量 が視野によって如何に変化するかを示している)。Fig. 1 と比較すると、60' ~ 120' ( $1^\circ \sim 2^\circ$ ) ではほぼ Fig. 1 の 3 のケースに属しているといえよう。Fig. 5 では高輝度では中心と周辺間には差が余りみられないが、低輝度になるほど面積の効果が中心視より周辺視で大きくなる傾向を示している。この効果は、K の値が刺激の大きさが増加するにつれて約 0.29 のステップで上昇していることから分かる (K は感受性の指

標ともなる)。尚、明るさの評価値のバラツキは  $15'$  ( $\log SD = 0.10 \sim 0.43$ )、 $30'$  ( $0.07 \sim 0.34$ )、 $1^\circ$  ( $0.07 \sim 0.34$ )、 $2^\circ$  ( $0.11 \sim 0.26$ ) となり非常に小さかった。  $1^\circ$  や  $2^\circ$  の刺激で明るさが周辺視で増加するのは、周辺視の低い視力に伴う fuzziness がコントラスト効果を高めているためとも考えられる (Burgh, 1963)。また、周辺視では有効瞳孔面積が減少したり (Spring & Stiles, 1948)、ocular media での吸収、散乱、反射、回折の効果を受けて (Weale, 1956) 実効輝度は減少しているにもかかわらず明るくみえている。これは、逆に言えば、それらの修正を行えば、明るさはグラフに表れている以上に明るくみえることを予測させる。(尚、Fig. 2, 3 は NAPS (National Auxiliary Publications Service) にマイクロフィッシュ NAPS-02600 番で登録されている。Microfiche Publications, 440 Park Avenue South,

New York, N.Y. 10016, USA)。

#### 4・2 周辺視の明るさのベキ関数に及ぼす時間の効果

序論 1・5・1b で述べたように呈示時間が明るさ感覚に与える効果を閾上刺激を用いて周辺視で検討した研究は見当らない。よく知られている 0.33 という指数値は "1-sec 中心視" という所謂 steady-state flash 条件での値である。また、brief flash 等の transient-state flash では指数は中心視で steady-state flash の場合の約 1.5 倍になることが知られている (S.S. Stevens, 1966; Mansfield, 1973)。

以下の実験では、呈示時間の効果を、 $1\text{msec} \sim 60\text{sec}$  までほぼ  $5 \log \text{unit}$  弱の範囲で変化させて検討する。特に、 $1 \sim 100\text{msec}$  では主として Bloch の法則と関連して (Osaka, 1978c)、 $50 \sim 1000\text{msec}$  では Broca-Sulzer 効果と関連して (Osaka, 1977c)、さらに  $1\text{sec} \sim 60\text{sec}$  では主として Troxler fading 効果と関連して検討する。

#### 4・2・1 実験Ⅱ

##### 目的

序論 1・5・1b で述べた如く、輝度  $\phi$  と呈示時間  $T$  の間には  $T \leq 100\text{msec}$  で  $\phi T = \text{constant}$  という Bloch の法則が成立することが閾値レベルで確認されている (Blondel &

Rey, 1911)。しかし、この関係が周上刺激のレベルで周辺視で検討されたことはほとんど無い。

本実験では、 $T \leq 100 \text{ msec}$  ( $\approx T_c$ ) を Bloch region と考え、①のバキ関数  $\psi = k \cdot \phi^B$  を適用した。但し、 $\phi = \phi T$  ( $T \leq 100 \text{ msec}$ ) とした。中心視、暗順応下では  $T \leq T_c$  (transient-state flash) で、バキ指数は  $(0.33 \times 3/2 \div) 0.50$  となることが知られている (Mansfield, 1973; Anglin & Mansfield, 1968)。即ち、中心視ではバキ指数は  $0.5$  (Raab, 1962)、 $0.50 \pm 0.03$  (Mansfield, 1973)、 $0.45$  (J. C. Stevens & Hall, 1966)、 $0.40$  (Aiba & S. S. Stevens, 1964) がそれぞれ見い出されている ( $\pm$  は標準誤差を表す)。

本実験では周辺視 Bloch region でバキ指

数が視野と如何なる関係にあるかを検討する。尚、本データは Osaka (1978c) によった (詳細は副論文参照)。関数近似には①式を用いた。

### 観察者

観察者はMEに習熟した院生及び学部学生14名であった。

### 手続

米田シルヴァニア社製のグロー変調放電管 (R1131C, 30mA で駆動) を光源として用いたが、このグロー管の立ち上がり、立ち下り特性は  $1\mu\text{sec}$  以下であった。光学系を通った光は視野計 (実験I参照) に投射された ( $0.73^\circ$ )。輝度は、Kodak Wratten No. 96 ND フィルタ (1 log unit) により、 $52 \sim 82\text{ dB re } 10^{-6}\text{ cd/m}^2$  の範囲で4種類

に変化させたものを用いた。 呈示時間は、  
1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 msec (0.3  
log step) を矩形波パルス発生器 (日本光電  
、MSE-3) で制御した。

さて、計28個の  $T \times \phi$  の刺激の組合わせ  
の中から、10個の equal-luminous-  
energy をもつ刺激を得て (例えば、1 msec  
 $\times$  140 cd/m<sup>2</sup> (82 dB) の組合わせは Blo-  
chの法則によれば 10 msec  $\times$  14 cd/m<sup>2</sup>  
(72 dB) の組合わせと等しい luminous-  
energy をもつ)、これらの刺激が惹起す  
る明るさの幾何平均を算出した。 輝度は輝  
度計 (三双製作所, 12 A) で計測した。

検討した視野は右眼水平径線上耳側視野 20°  
、40° 及び中心視野 (0°) であった。 凝視  
点は4ヶの発光ダイオード (700 nm) をダ  
イヤモンド型に配列した凝視野を用いた。

観察者にはフラッシュの長さの違いはできる  
だけ無視して明るさのみを評価するよう教示



した。10分の暗順応後、ランダムに出される刺激の明るさをMEで評価させ、そのベキ関数を示したのが Fig. 6 と Table 1 である（モデュラス刺激は 62 dB, 10 msec の中心刺激でこれに "10" という値を与え、呈示は継時比較によった）。

## 結果・考察

Fig. 6 では横軸は  $\log \Phi T$  (相対 luminous-energy) がとられている。Fig. 6, Table 1 で示されるように最小 2 乗近似したベキ指数は中心視で最大、周辺視ほど減少した (Fig. 7)。また、 $\alpha$  値も周辺視ほど増加した。これは、luminous-energy の低い所では所与の刺激が中心視では周辺視より暗くみえることと対応している。この傾向は他のデータとも一致している (Osaka, 1975, 1977c; Marks, 1971, 1977

private communication ; Drum, 1976  
a, b, 1977, private communication).

Fig. 8 の明るさ等感曲線を見ると、どの criterion の明るさレベルでも  $20^\circ$  周辺で最も明るく、 $30^\circ$  では少し暗くみえることが分る。この形状は暗順応条件下では一般的であるが、バキ指数が周辺で減少するため曲線の幅は左側で収斂する形状、即ち、Fig. 1 のモデルの 5 の逆のケースとなっていることが分る。これらのデータは Bloch region で  $\phi$  に  $\phi T$  という luminous-energy を代入した場合には ( $1 \sim 100$  msec 全体では) 周辺視ではバキ指数が減少し、視野と独立でないことを示唆している。

## 4・2・2 実験Ⅲ

### 4・2・2a 実験Ⅲa

#### 目的

実験Ⅱのように  $T_c$  ( $\approx 100$  msec) 以下の transient-state ではほぼ Bloch の法則が成立し、他方、1 sec 以上の Steady-state に近い条件では明るさは輝度によりのみ規定され、呈示時間の影響は受けなくなる。それでは  $T_c$  前後の呈示時間では明るさは呈示時間と如何に係わっているであろうか。

Bloch の法則が成立しなくなる  $T_c$  近傍では奇妙な明るさの一過性の enhancement が生じることが中心視条件で確認されている。

そして、この現象は Broca-Sulzer 効果と呼ばれている (Aiba & S. S. Stevens, 1964; Broca & Sulzer, 1902; S. S. Stevens & J. C. Stevens, 1960;

Raab, 1962 ; J.C. Stevens & Hall, 1966 ; Katz, 1964 ; Ekman, 1966 ; Marks, 1974 )。 例えば、Raab (1962) は暗順応下 71 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> 以上の輝度で、約 50 msec の近傍で enhancement (Broca-Sulzer 効果) を認めた。 また、Aiba & S.S. Stevens (1964) も輝度が上昇するにつれて enhancement の time-locus が 300 から 30 msec へ移動するのを確認した。 他に、Baumgardt (1963), J.C. Stevens & Hall (1966) や Arend (1973) もこれを中心視で確認している。 さらに scotopic の輝度レベルでは逆方向で 200 ~ 400 msec の time-locus でこの効果が認められ (White et al., 1976)、また刺激の大きさが 3' ~ 6' と非常に小さいと、面積の減少が spatial Broca-Sulzer 効果を招くともいわれる (Higgins & Rind-ducci, 1975a, b)。 以上の実験はほとんどが中心視のデータであるが、本実験では

周辺視で周上刺激を用いて Broca-Sulzer 効果も含めて、呈示時間の明るさへの効果を輝度を変えて検討する。尚、本実験のデータは Osaka (1977c) によった(詳細は副論文参照)。閾値近似には①式を用いた。

## 観察者

ME に習熟した院生、学部学生 16 名を用いた。

## 手続

シルヴァニア製グロー放電管等の装置は実験Ⅱと同じものを用いた。呈示時間は、1, 5, 10, 50, 100, 500, 1000 msec とし、59 ~ 69 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の範囲で 0.5 log unit で変化させた 3 種の輝度を用

いた (Wratten No. 96 フィルタによる)。  
刺激の大きさは  $44'$ 、呈示視野は中心視野と  
右眼水平径線上耳側視野  $20^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $60^\circ$  で  
あった。ME のモデュラス刺激は  $10\text{ msec}$   
、 $64\text{ dB}$  の中心視刺激を "10" として継時比  
較によった。観察者自身がスイッチを押  
すことによりランダムに刺激が呈示された。  
その他の方法、手続は実験 II と同様。

## 結果・考察

Fig. 9 ~ Fig. 12 に結果を示す。いず  
れも 1 データ表は 32 個の明るさ評価値の幾  
何平均値を示す。Fig. 9 では明るさは中心  
視では  $50 \sim 100\text{ msec}$  まで、周辺視では約  
 $50\text{ msec}$  まで呈示時間の関数として増加す  
るが、それ以上の時間では時間とは独立とな  
ることが示されている。これは目的で述べ  
た諸家の中心視のデータと概ね一致する。

但し、中心視では Broca-Sulzer 効果は観察されなかったのに、周辺視では特に 64dB 以上の輝度で enhancement が認められた。

次に、周辺視では一定の輝度刺激が中心視より（特に短い呈示時間ほど）明るくみえるが、周辺視条件間では著るしい差は認められなかった。また、Fig. 9 で勾配と各関数の spacing が  $T_c$  以下でほぼ等しいのは、Bloch の法則から予測される所である。例えば、 $8.6 \text{ cd/m}^2 (69 \text{ dB}) \times 1 \text{ msec}$   $\div$   $0.86 \text{ cd/m}^2 (59 \text{ dB}) \times 10 \text{ msec}$  であるが、これらの 1 対の刺激が惹起する明るさは中心でも周辺でもそれぞれほぼ同じ明るさに知覚されていることが Fig. 9 から分る。また、 $T_c$  も輝度の上昇に従って短い時間帯へ移行していることが分る。

Fig. 10 にはそれぞれの呈示時間毎のベキ関数を示す（周辺視条件は込みにしてある）。ここでは、明らかに呈示時間が長くなる

につれてベキ指数が減少していることが分る (Fig. 11 参照)。中心視のベキ指数は 100 msec まで直線的に減少し、それ以上の時間では steady-state の指数値 0.33 に近くなっているのに対して、周辺視のベキ指数は 1~50 msec でほぼ 0.50 を保持し、100 msec 以上ではほぼ 0.40 付近に止っている。この傾向は Raab (1962) や J. C. Stevens & Hall (1966) 等のデータと異っている。本結果では、短いフラッシュでは中心視ベキ指数はかなり大きく、周辺視のそれとの差が著るしいが、長いフラッシュでは差が小さい。S. S. Stevens (1975, p. 15) は点光源の短いフラッシュ条件では指数は 1.0 となるとしているので、1 msec 中心視で指数が 0.8 近くなったことも一応納得できよう。これはおそらく、中心視系は時間加重機能が短いフラッシュでは劣化するためであろうと推測される。さらに、興味あることには、steady-state フラッシュ



(1 sec)でのバキ指数は周辺平均で0.43に対し、中心視では0.33であったことである。これは、明らかにバキ指数が視野と独立でないことを示唆している。これはまた、3章3.5で述べたDrum (1976b)のデータと一部符合する結果であるが、条件差が大きすぎるので1-secフラッシュでさらに厳密に検討する必要がある(実験V~VI参照)。

Fig. 12に示した明るさの等感曲線(但し、呈示時間の関数としての)は、低輝度では100 msecまでは明るさは時間に依存すること、100 msec以上では依存度が低くなり、ゆく様相が判別できる。

#### 4・2・2b 実験Ⅲb

##### 目的

周辺視での面積と呈示時間の効果を検討する。

##### 観察者

12名のMEに習熟した院生と学部学生。

##### 手続

刺激面積を44'の他、16'、69'、116'を加え、呈示時間に2、20、200 msecを加えた。そして呈示視野は0°、30°、60°とし刺激輝度は64 dBに固定した。モデュラス刺激は10 msec、44'のものを"10"とした。

その他の手続、方法、装置は実験Ⅲaと同様である。

## 結果・考察

Fig. 13 に結果を示す。1 データ点は 24 個の評価値の幾何平均値を示す。中心視でも周辺視でも 3-log unit の全範囲を通じて面積の効果が認められた。また、周辺視ではやはり Broca-Sulzer 効果が 50 ~ 100 msec で現われた。この enhancement は刺激の輪郭がかなり blurred された周辺視では生じにくいという見解 (Arend, 1973) と一致しない。従って、時間的要因よりも空間的同時対比効果の寄与が大きいとする考え方 (Boynton, 1961; Corwin & Giambalvo, 1974) には検討の余地がある。20 ~ 100 msec では明るさは呈示時間に依存している。また、周辺視では全体として中心視より明るく判断されており、特に短い呈示時間でその傾向が大きい。

以上、実験Ⅲa, bの呈示時間の効果が周辺でより大きいのは周辺視系 (transient-channel) が中心視系 (sustained-channel) より時間加重効果に於てすぐれていることに由来すると推測されよう (Enroth-Cugell & Robson, 1966; Ikeda & Wright, 1972a, b; Breitmeyer & Ganz, 1976)。即ち、時間領域に於ては周辺視は微分的 (differentially) に、中心視は積分的 (integratively) に作動すると思われる。そして、周辺視ほど面積効果がより大きいのは周辺視の受容野の直径が周辺部へゆくほど大きくなる (Breitmeyer & Ganz, 1976) こととも関連していると思われる。結局、周辺視系は明るさに関しては中心視系より time-dependent であるといえる。

#### 4・2・3 実験Ⅳ

##### 目的

実験Ⅱ，Ⅲでは1～1000 msecの範囲で明るさに及ぼす呈示時間の効果を検討してきたが本実験では、1～60 secのより長い steady-state regionで明るさと呈示時間の関連をさぐる。周辺視でみた低輝度の刺激は数秒間の呈示でその明るさが減衰してゆき、時には全く一時的に（主観的に）消失（明るさゼロ）してしまうこともあるといわれる（Troxler fading 効果）。また、その減衰量は面積が小さいほど速いともいわれる。本実験は、周辺視に於ける Troxler 効果を刺激の輝度と面積を変化させて検討するものである。

## 観 察 者

ME実験に習熟した職員と学部学生5名。

## 手 続

刺激の大きさは  $25'$ ,  $45'$ ,  $80'$  の3種 (コパル No. 3 シャッターによる)、輝度は  $54, 64, 74, 84 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の4種を用いた。呈示視野は中心視野と  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  右眼水平径線上耳側視野であった。直径  $1 \text{ mm}$  の人工瞳孔を装着させたため、 $20^\circ$  以上の周辺視では凝視桌 (赤色発光ダイオード) と刺激が同一視野内に収まらなかったため  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  のみとした。凝視桌の上方約  $70'$  に中心視のモデュラス刺激 (大きさ  $45'$ , 輝度  $64 \text{ dB}$ ) を  $1 \text{ sec}$  毎に  $1 \text{ sec}$  点灯した。観察者は  $1 \text{ Hz}$  で点灯されるモデュラス刺激の明るさを "100" とした場合の、周辺刺激 ( $66 \text{ sec}$  呈示したまま) の明るさの変化を2

sec 毎に ME で評価した (モデュラスは Fig. 15 に黒丸で示す)。光源は TTL オシレーターで発振させた矩形波パルスで減衰させた。光は Kodak Wratten No. 96 ND フィルタ、ND ウェッジを通り、コペル No. 3 シャッターを通過して散乱面にリヤ・プロジェクトされた。

## 結果・考察

実験の結果は Fig. 14 ~ 22 に一括して示した。縦軸は明るさ評価の対数値、横軸は時間 (秒) を示す。1 データ点は 10 個の幾何平均値 (対数) を示す。一般に輝度が低いほど、また周辺視となるほど時間経過に伴う明るさの減衰が大きく、変化が大きいことを図は示している。これは実験Ⅲでみたように周辺視では time-dependent な明るさの変化があることを物語っている。換言すれ

ば、中心視では明るさの時間経過に伴う減衰量は少なく安定しているが、周辺視では不安定で飽和しやすいのである。面積、輝度に応じたこれらの変化は概ね Clarke (1957, 1960, 1961) の Troxler 効果の傾向と一致する。周辺部では低視力やその他の光学的・生理的粗さのため (Ferree, et al., 1931; Ferree & Rand, 1933; Clemmensen, 1944; Leibowitz et al., 1972; Campbell et al., 1974; Osaka, 1977a) steady-state の呈示条件ではその飽和水準に達する時定数が比較的短いものと思われる。また、これは、所謂周辺視に於ける網膜静止像の現象とも関連をもつと推定される。

Fig. 23 には 10 sec 毎の明るさのベキ指数の時間経過に伴う変化を示している。周辺視となるほど、また面積が小さくなるほどベキ指数の値が増大しているのが分る（いずれの条件でも呈示時間の初期では指数値は、



概ね 0.33 の近傍にある)。この増大傾向は、周辺視ほど、また小面積ほど、時間が経つにつれて明るさの変化の割合が大きいことを示唆しているといえる。

#### 4・3 周辺視の明るさのベキ指数に及ぼす視野の効果

実験Ⅰ～Ⅳで検討した如く、刺激の面積、呈示時間は視野に対して複雑な相互作用をもっているが、面積では  $1^\circ$  前後、呈示時間では 1 sec 程度が観察者にとっては最も明るさを判断しやすい安定した条件であることが推察される。そこで、実験Ⅴでは、そのような条件の刺激を用いてベキ指数と視野の関係

をさらに綿密に検討する。

実験Ⅰの刺激の大きさ 1°条件では 60°条件を采いて周辺視のバキ指数は全て中心視の指数より大きかった。また、Marks (1971) の赤色光条件でも Drum (1976b) でも周辺ほどバキ指数は増大傾向を示唆している。但し、実験Ⅰ、Marks (1971) は全て暗順応条件であったのに対し、Drum (1976b) はかなり高い明順応条件下で実施された実験であった点が異っている。そこで、実験Ⅶでは明・暗両順応条件下で 10°きざみの視野でこの問題を詳細に検討した。

#### 4・3・1 実験Ⅶa

##### 目的

前述の如く、中心視暗順応条件下ではMarks (1966, 1971, 白色光条件) は視野とベキ指数はほぼ独立であるという結果を得ている。

また、Mansfield (1973) は、視角  $2^\circ$  の刺激を用いて、中心視で  $0.34 \pm 0.02$ 、周辺視  $20^\circ$  で  $0.32 \pm 0.03$  の値を見出しており、その標準誤差の大きさから推定して、ほぼ視野と独立の結果を得ている。指数が視野と独立であることは理論的には輝度の変化が明るさの等感曲線の形状に変化を及ぼさないことを意味しているから、これらのデータは Fig. 1 のモデルではケースの①か③を予測させる。ここでは、暗順応条件下で視野とベキ指数の関係を検討する。

## 観察者

16名のMEに習熟した院生。

## 手続

光源には実験Ⅳで用いたシルヴァニア製グロー放電管(R1131C)を用いた。刺激の大きさは $1.02^\circ$ 、矩形波パルス発生器(日本光電製, MSE-3)で1 sec、トリガ点灯した。右眼中心視野と水平径線上耳側視野、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ 、 $30^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $50^\circ$ を検討した。刺激の輝度は4-log units (45 ~  $85 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ ) の範囲で、45, 55, 65, 75,  $85 \text{ dB}$  の5種を用いた。減光はKodak Wratten No.96 NDフィルタ(0.1-log units)により、輝度計で較正(三菱製作所, モデル12A)した。中央の凝視野はダイヤモンド型に配列された4ヶの発光ダイオード( $650 \text{ nm}$  で可視レベルの輝度)から成り、中心視刺激はこの中央凝視野に呈示された。観察者は、顎固定台で頭部を固定し、 $32 \text{ cm}$ の距離から刺激を観察した。15分の暗順応後、刺激はランダムに呈示さ

れた。モデュラス刺激(65 dB、中心視刺激)の明るさを"10"とした。比較は継時比較によった(10試行毎に呈示した)。試行間隔は15 secで、最も高い輝度刺激の次に最も低い輝度刺激を呈示することは避けた。

## 結果と考察

Fig. 24 に結果を示す。ここで1データ点は32個の明るさ評価値の幾何平均値を表わし、矢印は65 dBの刺激を表わす。斜めの実線は最小二乗近似したベキ函数(勾配はベキ指数)に対応する。また、Table 2 にはベキ指数(±標準誤差)、スケーリング定数、決定係数を各視野毎に示す。これを見ると全体としてはベキ指数は周辺ほど漸増してゆくことが分る。

Fig. 25には明るさの等感曲線を示す。

この曲線群は暗順応の場合の典型的なケースで、同じ輝度の刺激は中心視では暗く、周辺視（特に  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ）では明るくみえることを示している。 Fig. 1のモデルでは5番のタイプに属しているといえる。 さて、最大と最小のバキ指数の比は 1.2 であり、標準誤差からも推察されるように全体としてはバキ指数間には有意な差が認められた（二項テスト,  $p < .05$ ）。 これは、前述のデータ（Marks, 1966, 1971; Mansfield, 1973）と一致しない。 ただ、Marks (1971) の赤色光を用いた実験では 0.31（中心視）、0.34（ $12^{\circ}$ ）、0.37（ $20^{\circ}$ ）と増加しており、本データと同じ傾向を示しているのは興味深い。

#### 4・3・2 実験Ⅶb

##### 目的

オ3章3・5で述べた Drum (1976b) のデータは、明順応下でバキ指数の視野の移動に応じた "unmistakable increase" (p.1404) を報告している。これは、理論的には明るさの等感曲線が刺激の輝度の変化の影響を受けて変化することを示唆しており、Fig. 1のモデルではケースの6か8を予測させる。また、一方では既述(オ3章、3・2・3及び3・4)したように、明順応下でもバキ指数は視野と独立であるという報告もある(Marks, 1968; Pöppel & Harvey, 1973)。これらの実験のデータの相異は順応光の輝度水準と呈示の方法と深い関連があるように思われる。Drum (1977, private communication) も指摘するように、桿体系の働きをある程度抑制してしまう輝度水準

を順応光として用いる必要がある。また、順応光を消去しない場合にもやはり Marks (1968) の得たようなデータが得られるかどうかは検討の余地がある。

### 観察者

14名の院生。全員MEの経験をかなり有す。

### 手続

使用した刺激輝度は65, 75, 85, 95 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の4種。背景明順応光の輝度は57 dBでこれは実験中はずっと呈示されていた。また、背景光と最小刺激輝度の間には7 dBの差があるのでデータは①式で近似した。モデュラス刺激は75 dB中心視刺



激("10")とした。その他の方法、条件、手続は実験Ⅶaと同様。

### 結果と考察

Fig. 26 に結果を示す。1 データ表は、28 個の明るさ評価量の幾何平均値を表わす。また、矢印は 75 dB の刺激を示す。さらに Table 3 に推定パラメータ値、Fig. 27 に明るさの等感曲線を示す。ベキ指数は中心から  $20^\circ$  までは漸減傾向、 $20^\circ$  から  $50^\circ$  までは漸増傾向を示している。指数の最大、最小値の比は 1.16 であった。ここでも  $20^\circ \sim 50^\circ$  では指数の増加に有意差が認められた(2 項テスト,  $p < .05$ )。結局、Drum が得た著るしく大きな指数の増加はなかったが、データの方角はやや彼の得た傾向へと指向している。しかし、既述の如く、Drum の場合は、刺激が全て閾値に近かった

ことやその範囲が  $0.4\text{-log units}$  しかなかったことが大きな問題点となることには変わりがないし、Drum 自身も周辺視で得た大きなバキ指数について "the luminance range ---- are too narrow and too close to threshold to provide accurate estimates of the slope" (exponent) (Drum, 1976b, p. 1404) と述べている。それ以外にも Drum が ME を用いなくてマッキング手続によっていることも大きな原因と考えられる。

さて、Fig. 27 の明るさの等感曲線はやはりバキ指数のデータから予測されるとうり、Fig. 1 のケース 8 に対応している。ただ、いずれの曲線も  $10^\circ$  で中心より少し明るくみえるのはまだ桿体系の intrusion が残存している可能性を示唆している (これは Marks (1968) の  $63\text{ dB}$  明順応条件でもやはり出現している)。Fig. 28, 29 にはそれぞれ両順応下での等輝度曲線とバキ指数の視野との

関係を示す。 Fig. 28 中の  $\oplus$  記号はモデュラスを示す。 とにかく、実験  $V_a, b$  で両順応下でバキ指数が周辺視で漸増傾向を示すことが確認されたといえる。

#### 4・4 周辺視の明るさのバキ指数と閾値・ 閾上値の明るさの等感曲線

本実験では、序論 1・8 で述べた「閾値曲線」は「明るさゼロ」の明るさの等感曲線を形成するの可否を実験  $V_a, b$  で述べた問題点を総括検討しながら決定する。ここでは閾上値の刺激の惹起する明るさと閾値の惹起する「明るさ」の関係を Fig. 1 のモデルに従って検討する。従って、適用するバキ関数は②式である。

#### 4・4・1 実験 VI<sub>a</sub>

明るさの感覚を司る機構は順応条件によって中心視と周辺視では全く異なる。従って、明るさを mediate する機構を精神物理学的に検討する際には、対象を中心視に限定せずできるだけ広い周辺視野も含めて問題にする必要がある。同じ光エネルギーを有する対象も主観的明るさは視野によって異なる (Jameson, 1965)。例えば、桿体と錐体の密度関数と逆比例して、閾値は暗順応下では中心から周辺へ向って漸減してゆき、明順応下ではその逆になることが知られている (Sloan, 1950)。これは、精神物理学的文脈では②式の閾値  $\phi_0$  が順応条件や視野によって異なることを意味している。各視野に於けるバキ関数パラメタが既知のものとなれば、もし閾値  $\phi_0$  やバキ指数  $\beta$  が視野や順

応条件で異っても、 $\psi_p = \psi_f$  (既述の如く  $\psi_p, \psi_f$  をそれぞれ周辺視、中心視での明るさとする) が成立するのに必要とされる輝度の量  $\phi$  はオ2章2・4 で述べたように③式で求められる。再掲すると：

$$\phi = \left( \frac{\psi}{r_e} \right)^{1/\beta} + \phi_0 \quad \text{————— ③}$$

( $\phi > \phi_0$ )

また、任意の criterion の明るさ  $\psi$  で  $\psi_p = \psi_f$  とするのための  $\phi$  の量を視野の関数として描いた明るさの等感曲線は通常、 $\phi$  が閾上 (supra-threshold:  $\phi > \phi_0$ ) の場合にのみ定義される。しかしながら、 $\phi = \phi_0$  の場合は  $\psi$  は explicit には求まらないので、 $\phi_0$  を視野の関数として表した曲線 (閾値曲線) が明るさの等感曲線の特殊なケース、即ち、「明るさゼロ」の等感曲線を形成するか否かは不明である (序論1・8 及びオ3章3・4, 3・5 の Pöppel & Harvey (1973) と、

Drum (1976b) の実験参照)。

そこで、この問題を検討するために Fig. 1 のモデルをもとにして、2つの仮定とそれに基づく仮説を立ててこの問題を検討した。

仮定：

- (1) もし閾値中太曲線が「明るさゼロ」の明るさの等感曲線を形成し、
- (2) ベキ指数  $\beta$  が視野とは独立ならば：

仮説：

閾値曲線も含めた複数の任意の明るさの等感曲線は相互に平行移動の関係にあると予測される（暗順応条件では Fig. 1 のケース3，明順応条件では Fig. 1 のケース4の成立を意味する）。

Fig. 30 に（或いは Fig. 1 のケース、3 と 4）みられるように、閾値曲線（threshold contour）が「明るさゼロ」の明るさの等感曲線ならば、これは輝度軸上に上方へ平行移動すれば予測される閾値上の明るさの等感曲線と一致するはずである（本モデルでは Fig. 1 も Fig. 30 も暗・明順応下では閾値がそれぞれ周辺ほど減・増するように描いてあるが、これはあくまで従来のデータ（例えば Sloan, 1950. 等）に基づくモデルで個々の曲線の形状は問題ではなく、曲線相互間の相互平行移動の可否のみが問題とされている）。

## 目的

この仮説を検討するために暗順応下で実験を行う。周辺視暗順応下で閾値曲線と閾上の明るさ等感曲線を求め、平行移動仮説を検討する。

## 観 察 者

MEに習熟した学部学生と院生6名。

## 手 続

光源には白熱球(5V 2A, 約2700°K)を、電源には5V定電圧電源を用いた。デューティー比可変のTTLマルチバイブレータで作製したCR発振器の方形波パルス出力をNANDゲートで受け、それでパワーランジスタを駆動することにより、光源を1sec点灯した(ISIは5sec)。この呈示時間はBroca-Sulzer 効果(実験II~IV)を避けるために設定した(Osaka, 1977c)。

光刺激は光学系を透過し、フェルスタ型視野計の弓状球面の中央開口部を経て、視野計前面に密着して弓状に張られた視角横100°、縦70°の白色ケント紙上の円形に切り抜かれ



た面に張った光拡散面に投射された。光学系にはNDフィルタ(Kodak Wratten No. 96)と円形ウェッジ(M-タイプ, Kodak製)が挿入され、実験者が刺激の輝度を1dBステップで変えることができるようにした。MEに使用した輝度は10dBステップで54, 64, 74, 84 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> に変化させたものを用いた。輝度の測定はマクベス輝度計(若狭光学製)で行った。拡散面の背後に置いたシャッタ(コパルNo. 3)で刺激の大きさを0.8°にした(但し、閾値測定の場合にのみ面積効果をみるため26'の刺激も併用した)。検討した視野は中心視野(0°)と10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 及び70°の右眼耳側周辺視野であった。凝視卓は可視レベルの赤色発光ダイオードでその位置は中央刺激呈示部から10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 及び70°左側水平径線上に各条件毎に移動させて設置した。観察者は顎固定台で頭部を固定し、右眼単眼視で27

cm の観察距離から凝視点をみつめるよう教示された。  $10^{\circ}$  と  $20^{\circ}$  の呈示条件では刺激が盲点にかからぬよう注意した。

### 手続

約15分間の暗順応後、数試行の練習試行を行ってから実験を開始した。観察者には中心視 64 dB の刺激をモデュラスとし、この明るさを "10" とした時の他の変化刺激の明るさを比で報告させた。呈示は継時比較によった。観察者は、刺激が 1 sec 呈示された後、続く 5 sec 以内に判断するよう求められた。各観察者で各視野×輝度の組合わせ条件あたり、ME では5回(各視野条件について検出閾では10回；尚、検出閾の定義についてはオ2章2・3・2参照)の試行の幾何平均値を求めた。従って、6名の観察者ではMEでは30試行、検出閾では60試行の

幾何平均値をデータとして用いた。尚、検出閾はME実験中に staircase 法 (1 dB ステップ, 10 回の reversal を基準とした) で求め、閾を求めた後に再びMEに入る時は必ずモデュラスを呈示してから再開した。呈示順応は全てランダムとした。

## 結果

Fig. 31 にMEの結果を示す。横軸には 10 dB ステップの相対輝度の変化が、縦軸にはそれに対応した明るさ評価量の対数値がとられている。データのSDは周辺視低輝度条件で若干増加したがいずれもほぼ 0.16 log units 内に収まった (実験 VI b でも同様)。54 dB から 30 dB、輝度  $\phi$  が増加すると、明るさ  $\psi$  は  $\phi$  のべき関数として増加することが分る。Fig. 31 の直線の勾配はべき指数を示し、これは周辺へゆくほど微増傾向

を示している。また、横の曲線は等しい $\phi$ が各呈示視野で惹起する $\psi$ を示す等輝度曲線 (Equal luminance contour) を示す。この曲線は、54 ~ 84 dB の全ての $\phi$ のレベルで $0^\circ$ から $10^\circ \sim 20^\circ$ にかけて著るしい右よりの傾向を、 $30^\circ \sim 70^\circ$ にかけてはほぼフラットとなる傾向を示している。このうち、54 dB条件のみが $70^\circ$ では逆に明るさが減少する傾向がみられる。これは一般的に暗順応下では同じ $\phi$ に惹起される $\psi$ は中心視( $0^\circ$ )で最も小さく、周辺視では増加する傾向があることを示唆している。また、Fig. 31の縦軸の criterion の明るさ評価量を維持するために必要とされる $\phi$ の量を呈示視野の関数として示したものが Fig. 32 の明るさの等感曲線である。Fig. 32 の右縦軸には相対感受性 (輝度の逆数) がとられている。この図は criterion の明るさ $\psi$ を保持するために必要とする $\phi$ の量は一般に周辺では小さいことを表わしている。Table 4 には視野毎のベキ指

数 $\beta$ とその決定係数(適合度指数)が記されている。

4・4・2

## 実験 VI b

### 目的

同様の平行移動仮説の検討を明順応下で行う。

### 観察者

実験 VI a に同じ。

### 手続

実験 VI a で用いた回路の方形波パルスの論理<sup>ロ</sup>レベル(5 sec の ISI に相当する部分

)の部分をインバータを介在させて論理1レベルに変換し、これで高耐圧パワートランジスタを駆動することにより放電管(FL40, 白色光, DC 230V)を5sec 点灯した。

従って、5secの明順応のオフセットが1sec 呈示の刺激の白熱灯のオンセットとなり、これが1周期として繰返される。NDフィルタを巻いた放電管は白色ケント紙上を一樣に照射し、その順応輝度は64 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>であった。また、MEに使用した輝度は10 dB ステップで64, 74, 84, 94 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>に変化させたものを用いた。

その他は実験VIaと同様。

## 手続

約5分間の明順応後、数試行の練習試行を行ってから実験を始めた。モデュラスとしては中心視74 dBの刺激を"10"として用い

た。その他は実験 VIa と同様。

## 結果

Fig. 33 及び 34 に明るさのベキ関数と明るさの等感曲線を示す。Fig. 33 では 64 dB から 30 dB、 $\phi$ が増加すると、 $\psi$ は $\phi$ のベキ関数として増加していることが分る。等輝度曲線は明順応条件では全て右下りの傾向を示した。この傾向は、特に 64 dB では著るしい。これは同じ $\phi$ に惹起される $\psi$ は中心視( $0^\circ$ )で最も大きく、周辺になるほど減少する傾向があることを示している。従って、Fig. 34 の明るさの等感曲線も右上りの傾向を示している。これは、criterionの明るさ $\psi$ を維持するために必要とする $\phi$ の量は周辺では呈視視野の関数として増大することを意味している。Fig. 34 の右縦軸にも相対感受性が示されている。ベキ指数 $\beta$ は

中心視で最も小さく、周辺にゆくにつれて増加傾向が認められる。Table 4 には視野毎の  $\beta$  とその決定係数を記す。

## 総合考察

### 実験 VIa

周辺視の明るさ等感曲線への暗順応の効果  
— 仮定(1)について —

Fig. 32 をみると  $20^\circ$  周辺視で  $\psi_f = \psi_p$  とするには約 10 dB の  $\phi$  を中心刺激に加えなければならず、全体として、閾値  $\phi_0$  曲線は  $20^\circ$  を底として上に凹型となっている。 $\phi_0$  曲線を閾上の明るさ等感曲線と比較すると、Fig. 30 の平行移動仮説は明らかにあてはまらない。つまり、Fig. 32 は  $\phi_0$  曲線が「明るさゼロ」の等感曲線を形成していないこ



とを示している。 閾上の明るさ等感曲線の平均を示す曲線 (Fig. 35) から推測して  $\phi_{\text{A}}$  曲線は  $20^\circ$  を底として両側へゆくほど徐々に明るく見えてくることを示唆している。 相対的な差をみるため Fig. 32 の等感曲線群を中心視条件 ( $0^\circ$ ) でのデータを基準に重ねて示したのが Fig. 35 である。 Fig. 35 の  $\phi_{\text{A}}$  曲線が  $20^\circ$  で上に凹となっているのはこの部位 (桿体密度の最も高い所) での spatial summation の効果が閾上とは異なるためとも考えられる。 そこで念のため、 $\phi_{\text{A}}$  を視角  $26'$  の刺激で求めたが (Fig. 32)、基本的には同じ型の曲線が得られた。 即ち、面積効果によって形状は変化しなかった。 さて、既述 (3章 3.3.2) のように Marks (1966) は、視角  $1^\circ$  の刺激を用いて暗順応下の  $\phi_{\text{A}}$  曲線を周辺  $60^\circ$  まで求め、ほぼ類似の結果を得ている。 Marks でも  $\phi_{\text{A}}$  曲線は  $20^\circ$  を底として約 20 dB の差を両側 ( $0^\circ$  と  $60^\circ$ ) にもつ上に凹型の曲線を示している。

本実験で得た 10 dB の差とは隔たりがあるように思われるが、彼の場合は個別に絶対閾を求めているため ME 実験中に受ける順応効果が少ないことに起因していると考えられる。この意味では Marks (1966) の  $\phi_d$  は所謂、絶対光覚閾であり、検出閾とはやや異なる [(Ekman & Gustafsson (1968) によれば、検出閾は絶対閾より少し高く、両者の間には有意差があるという (2 章 2.3.2 参照)]。

— 仮定 (2) について —

一方、Fig. 32 は閾上の明るさの等感曲線では 50 ~ 80 dB の範囲内で、例えば  $20^\circ$  以上の周辺視で  $\psi_f = \psi_p$  とするためにはいずれの等感曲線でも中心視刺激に約 3 ~ 6 dB 加える必要があることを示唆している。相場 (1967) のマッキング実験 (オ 3 章 3.2 参照

）では  $\phi$  が  $35 \sim 85 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の範囲では中心視刺激が周辺視 ( $20^\circ$ ) 刺激より約  $10 \text{ dB}$  強くないと両者は  $\psi_f = \psi_p$  とならないと報告されており、また、Marks (1966) の ME とマッティング実験では  $50 \sim 90 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  の範囲では  $\psi_f = \psi_p$  となるためには  $10^\circ \sim 60^\circ$  のどの視野位置でも約  $3 \text{ dB}$  中心視刺激に必要とするとして報告されており、この量はおよそ刺激の呈示条件で  $3 \sim 10 \text{ dB}$  の間で変動するものと推測される。他方、criterion の  $\psi$  のレベルが上昇するとこの差は漸減してゆくことはすでに指摘されている (Marks, 1966; 相場, 1967) が、これは本実験でも微少ながら Fig. 32 から確認される。これは、Table 4 の如くベキ指数  $\beta$  の値が周辺視になるほど微増していることと対応している (但し、既述の如く、Marks (1966) のデータでは  $\beta$  はほぼ視野とは独立であるとされている)。

Fig. 36はFig. 32の白丸の最も上と下の明るさの等感曲線の差(dB)を視野の関数として示したものである。もし、指数 $\beta$ が視野と独立(仮定(2))ならばフラットな理論線(破線)を得るはずである。しかし、暗順応下では $\beta$ は微少ながら右下がりの傾向の曲線で示されるように視野とは独立でないこと、即ち、仮定(2)が成立しないことを示している。

以上より、暗順応下では、中々曲線は明るさゼロの明るさの等感曲線を形成せず(仮定(1)の否定)かつ、 $\beta$ も視野とは独立でない(仮定(2)の否定)といえる。従って、明るさの等感曲線は相互平行移動の仮説を満足しなかつた。

## 実験 VI b

周辺視の明るさ等感曲線への明順応の効果  
 — 仮定 (1) について —

Fig. 34 から、周辺へゆくほど  $\psi_f = \psi_p$  とするには約 6 ~ 15 dB の  $\phi$  を周辺視刺激に加えなければならぬことが分る。しかし、その増加の比は、特に  $0^\circ$  と  $10^\circ$  の間では著るしく大きく、これが  $\phi$  曲線を全体に上へ凸型にしている。そして、Fig. 34 から分るように、ここでも Fig. 30 の平行移動仮説はあてはまらず、 $\phi$  曲線は全体としては明るさゼロの等感曲線を形成していない ( $0^\circ$  では暗くみえるが  $10^\circ$  以上の周辺ではほぼ同じ明るさにみえると推測される)。但し、 $10^\circ \sim 70^\circ$  ではほぼ等感曲線と平行移動可能な形状を示しているので、中心視 ( $0^\circ$ ) 条件を除けば仮定 (1) は部分的に成立するともいえる。

事実、Marks (1968) は 73 ~ 83 dB re

$10^{-6} \text{cd/m}^2$  のほぼ桿体系を saturate させる (Aguilar & Stiles, 1954) 明順応条件で絶対閾の  $\phi$  曲線と等感曲線の間にほぼ完全な平行移動が成立することを示している。従って、本実験でも順応輝度を 64dB から 80dB 前後に上げた場合には桿体系の intrusion をかなり抑制することになり、これが結果的には平行移動を可能にしたかもしれない。

他方、既述の如く (オ3章 3.4 と 3.5) Pöppel & Harvey (1973) は ME で  $0^\circ \sim 60^\circ$  を 64dB re  $10^{-6} \text{cd/m}^2$  の明順応条件 (刺激の大きさ  $10'$ , 呈示時間 200 msec) で、さらに Drum (1976a, b) はマッキング実験で  $0^\circ \sim 30^\circ$  を 77dB re  $10^{-6} \text{cd/m}^2$  の明順応条件 (大きさは  $1.1^\circ$  と  $10'$ , 呈示時間 1 sec) で共に平行移動仮説 (彼等はこう呼んでいないが筆者が名づけた) が成立しないことを示した。呈示視野の  $10^\circ$  の増加あたりの  $\phi$  曲線の増加量は Pöppel & Harvey (1973)

では約3dB、Drum (1976b) では約3~5dBもあり、本実験結果の約1~2dBより少し視野に対する勾配が大きい。

— 仮定 (2) について —

中心曲線が周辺になるほど漸増するという点では本実験も基本的に同様であるが、Marks や Pöppel & Harvey のデータと本実験データの最も着るしい相異は、彼等のデータでは周上刺激に対応する明るさの等感曲線がほとんど視野とは独立 (フラット) である点である。フラットな明るさの等感曲線は同一の中心が惹起する明るさは呈示視野とは関係なくどこでも等しい明るさにみえることを意味するが、これは本実験でも Marks (1968) でも確認できなかった。考えうる相異は、本実験や Marks の実験では順応光を刺激呈示中には消去したことであるが、こ

れが急激に順応状態を変化させた結果とも考えられる。 Fig. 34 及び Fig. 35 は図上の明るさの等感曲線では  $\psi_f = \psi_p$  とするために周辺刺激に加える必要のある  $\phi$  の量は明るさの criterion の低い等感曲線での約 15dB から高い等感曲線での約 7dB へと漸減していることが分る。 Fig. 36 でもやはり、等感曲線間の差は周辺ほど小さくなる傾向 ( $\beta$  の漸増傾向) が認められ、 $\beta$  は視野とは独立 (理論破線) ではないことを示している。 即ち、ここでもやはり仮定 (2) は成立しない。  $\beta$  の漸増傾向は既述の如く、Drum (1976b) では報告されているが、Marks (1968, 1976) や Pöppel & Harvey (1973) では系統的变化は認められなかつたと報告されている (オ 3 章 3.3, 3.4, 及び 3.5)。 Marks (1968) の場合は、 $\phi$  曲線は明るさゼロの等感曲線であるということ (仮定 (1)) と推定された  $\beta$  が視野と独立であること (仮定 (2)) は理論的に  $\phi$  曲線と明るさの等感曲線とは平



行移動関係にあるという結論を導くことになる。しかし、Pöppel & Harvey (1973) の場合は、仮定(1)は成立しなかったのでも  $\beta$  が視野と完全に独立なものではなく、単に視野の効果の受け方が系統的ではなかったといった方がよく、決定的なことはいえない(さらに付け加えれば、Drum の実験も Pöppel & Harvey の実験も主たる観察者が1名では少なすぎるとも考えられる)。

以上より、明順応下では  $\phi$  曲線は部分的に明るさゼロの明るさの等感曲線を形成するが(仮定(1)の部分成立)、バキ指数  $\beta$  は視野とは独立でなかった(仮定(2)の否定)。従って、明るさの等感曲線は相互平行移動の仮説を満足しなかったといえる。

— 両順応条件下 (VI a, b) での比較 —

Fig. 32, 34, 及び 35 は相対感受性 (図の右側のスケール) からみれば、一般に、両順応条件下で相互に逆方向の呈示視野の効果を受けることを示している。しかし、その効果の受け方は視野によって少しづつ異なり、明るさを mediate する機構には複雑な桿・錐体系の相互作用がその背後に働いていることが推測され、Fig. 30 のような単純な図式は十分に当てはまらないことを示している。

周辺視に於ける明るさを mediate する機構についての推論は多いが (相場, 1967; 苧阪, 1977b; Osaka & Yamamoto, 1978)、明るさの感覚は順応輝度が比較的高い明順応下では (桿体系の活動がある程度抑制されて) 主として錐体機構によって、また比較的低いときは桿体機構によって司われていると考えられる。中でも暗順応下の  $\phi \alpha$  曲線はほとんど桿体系の寄与のみを受けていると思

われる。さらに、明順応下で得た明るさの等感曲線は赤色光 (650 nm 前後の赤色光は桿体系には比較的 insensitive であることを利用して、錐体系の明るさの mediate の過程をテストすることができると得られたデータ (Marks, 1971; Drum, 1976b) と比較的よく一致するので、これには錐体系の特徴が反映されているものと思われる。次にバキ指数  $\beta$  は錐体系では桿体系より所謂 compression 効果 (非線形過程の程度;  $\beta = 1.0$  ではゼロとなる) が小さく ( $\beta$  が大きい)、また両系での指数の周辺視での漸増は周辺ほど compression の機能が漸次劣化してゆく傾向を示唆していると思われる。周辺視での  $\beta$  の漸増傾向は、入射光が周辺になるほど (Oblique incidence) 有効瞳孔面積が減少ながら漸減してゆくこと (Sloan, 1950; 序論 1.4 参照) や、特に錐体系の活動がこの状態下で Stiles-Crawford 効果を受けて弱化的ること (Fig. 36 で明順応下の  $\beta$  の勾配

が大きいこと)とも対応するかもしれない。

従って、この点には人工瞳孔を用いて再検討する必要がある。

結果として、実験 VI では次の結論を得た。

。

(1) 暗順応下では明るさの等感曲線は周上では周辺になるほど漸減したが(相対感受性の上昇)、周値では  $20^\circ$  を底とする上に凹型となり、平行移動の仮説は成立しなかった。

(2) 明順応下では逆に明るさの等感曲線は周上では周辺になるほど漸増した(相対感受性の減少)。また、周値は周辺視では部分的に明るさゼロの明るさの等感曲線と一致したが、バキ指数が視野とは独立でなかったため全体としては平行移動仮説は成立しなかった。

- (3) また、ベキ指数は順応輝度が上るにつれて、また視野が周辺になるにつれて漸増し、これらの条件が明るさの等感曲線に影響を与えることが判明した。
- (4) そして、ベキ指数が主として錐体系が働く明順応下では、主として桿体系が働く暗順応下より大きいこと (compression 効果が小さいこと)、そして、両順応条件で周辺視ベキ指数が漸増すること (周辺視での compression 効果の劣化) 等は、順応光の輝度水準が十分に桿体機構を抑制する水準にある場合は、明るさは主として錐体機構によ、て司られ (中心視・周辺視でも)、それ以下、桿体閾値水準までは両機構の相互作用によ、て司られることを推定させた。

#### 4・5 結論と要約(実験Ⅰ～Ⅵ)

まず空間加重効果(面積効果)については: 刺激の面積が小さいほど、また周辺視であるほどその効果が徐々に現われ、ベキ指数は面積の減少と視野の増加に伴って漸増(実験Ⅰ)。

この傾向を一般化したものを、Fig. 37 に示す。Fig. 37 は  $0.5^\circ$  あたりでベキ指数が中心・周辺共に輝度の2乗根(平方根)法則(Square root law)に入り、以後面積の増大に従って3乗根法則(cube root law)に近づいてゆくことを示している。図は  $1.5^\circ$  ～  $2^\circ$  の刺激を用いればほぼ安定したベキ指数を得ることを示している。

次に時間加重効果(呈示時間の効果)については: 刺激の呈示時間が  $100\text{ msec}$  以下の Bloch region ではベキ指数は中心視で大きく周辺視では小さくなる、(実験Ⅱ)。もし

て  $1 \sim 1000 \text{ msec}$  の範囲内ではバキ指数は中心視では時間が短いほど ( $100 \text{ msec}$  以下) 増大し、周辺視では逆に  $100 \text{ msec}$  以上で増大する傾向をみせ、また Broca-Sulzer 効果は周辺視でのみみられた。さらに、周辺視では面積の効果が認められた (実験Ⅲa, b)

。呈示時間を約  $60 \text{ sec}$  まで延長すると面積が小さく、周辺になるほど、明るさは時間と共に著るしく減衰してゆく (Troxler 効果) が、中心視で、高輝度では安定していること、さらにバキ指数は周辺視ほど時間と共に増大することが分った (実験Ⅳ)。実験Ⅱ～Ⅳを一般化した図を Fig. 38 に示す。

約  $100 \text{ msec}$  で中心視と周辺視のバキ指数値が入れ換っている点に注意。また、この図はバキ指数は周辺視では  $10 \text{ sec}$  までにはほぼ輝度の平方根法則に従うのに対し、中心視では  $300 \text{ msec} \sim 10 \text{ sec}$  までの範囲で乗根法則が成立するにすぎず、それ以下や以上の呈示時間ではこの法則から逸脱することを示し

ている。

暗・明順応の効果については：阈上では、両順応条件下でバキ指数は呈示視野の増加に伴って漸増傾向を示した（実験Ⅶ<sub>a, b</sub>）。

最後に、両順応条件下での閾値曲線と阈上の明るさの等感曲線の関係については：両順応条件下共に、実験Ⅶ<sub>a, b</sub>で示されたバキ指数の呈示視野に伴う漸増が認められ、このため、閾値曲線は「明るさゼロ」の明るさの等感曲線を形成しないことが明らかとなった（実験Ⅶ<sub>a, b</sub>）。



## 才5章 周辺視に於ける明るさの精神物理学 (Ⅱ)

### 5.1 明るさのベキ法則と潜時ベキ関数

「明るさ」という心理量はMEと呼ばれる直接尺度構成法で関数的に取り扱ってきたが、そこには観察者の言語的枠組への依存性という問題点が残されていた。そして、そこに才5章2.1で述べたME法の問題点があった。しかも、MEは、観察者がその人固有の心理的「数」詞の連続体を内部に有している（即ち、明るさを評価するための固有の言語的評価機能と有する）といった前提以外にも、認知過程に関与して種々の仮定が前提条件として存在する。従って、MEでは言語的枠組の不完全な幼児や動物を観察者に用いることは不可能であった。それではMEと同様にその方法的 simplicity を失わずに、しかも観察者にできるだけ煩雑な前提

条件を課さばいような直接的尺度構成法はばいであろうか。

筆者は、精神物理学的方法の一つである反応潜時法によって「潜時ベキ関数」を求めることにより、そのような尺度構成がMEより制約の少ない条件下で一般的に適用可能であると考えた。しかも、潜時ベキ関数は、刺激が阈上である限り、cross-species data等の比較も可能である（例えば、サルやラットの波長弁別実験に、潜時ベキ関数を適用し、明るさ導感曲線や潜時等値曲線を求めたり（Moody, 1970, p.288-292）、学習曲線にベキ関数を適用した例（J.C. Stevens & Savin, 1962）などがある）。

## 5.2 マグニチュード推定法と潜時の関係

潜時（Latency）とは、刺激のオンセットから観察者の何らかの反応の initiation ま

での時間間隔を示し、反応潜時 (response latency) とか、反応時間 (reaction time) と呼ばれることもある。

さて、MEと潜時の方法論的検討を吟味した研究は非常に少ないが、ここでは、Aikin (1973) が、明るさに関して両者の比較を行っているので、その結果をみる。

Aikin (1973) は、その論文 "A comparison of reaction time and magnitude estimation methods for scaling brightness and loudness" で、4名の観察者を用いて次のような実験を行った。明るさに関するデータをみると、刺激は大きさ  $1^\circ$  で中心視に、33 msec 間呈示された。輝度は、65~108 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の8種であった。そして、潜時データのうち、(RT - RT<sub>0</sub>) の部分が、MEのデータと比較された (但し、RT, RT<sub>0</sub> はそれぞれ潜時, asymptotic 潜時を表わす)。

( $RT - RT_0$ ) は、ME が輝度の増加に伴って増加するのと同じ比率で、輝度の増加に伴って減少する。また、この結果は、neural timing model\* (Luce & Green, 1972, p. 40) で予測される結果と一致した。即ち、ME のベキ指数と ( $RT - RT_0$ ) のベキ指数で除した結果  $-1.0$  が得られた (両者の絶対値が同一で符号のみが変わる)。Aikin のこのデータは、潜時ベキ関数が、ME のベキ関数と同じベキ法則に従っていることを確証したといえる。また、光刺激に対するサル (*Macaca fascicularis*) の LGN の応答特性もヒトの ME データと類似しているといわれている (Marrocco, 1975)。

\* Luce & Green (1972) は、入力刺激に応じた神経パルスの間隔 (IATs) は、ポワソン過程で処理されるとし、IAT の分布は入力刺激の強度に逆比例して変化するという Neural timing

model を提唱した。このモデルで ME や潜時の関係がある程度同じレベルで解釈できる (Nissen, 1977)。しかし、例えば、潜時では、明るさは  $T\phi = \text{constant}$  とはならず、 $T$  が ME に比べて余り潜時ベキ指数に効果をもたないことが知られている (Marks, 1974, p. 371 - 373)。

### 5.3 周辺視に於ける潜時ベキ指数

刺激が比較的低輝度の時は、輝度の増大は潜時 (以下  $t_L$  と略す) の減少と関連するが、より高い輝度水準では  $t_L$  は、一定の asymptote (以下  $t_\infty$  と略す) に漸近するだけで  $t_\infty$  以下とはならない。これは、 $t_\infty$  が  $t_L$  の irreducible な部分 (efferent component) であることを示している。他方、 $t_L - t_\infty$  は、刺激のパラメータにより影響を受

ける  $t_L$  の variable 部分 ( sensory component ) であって, primarily には sensory transducer の behavior を反映すると考えられる。

さて,  $t_L - t_\infty$  を輝度の関数として, 両対数グラフ上にプロットすると,  $t_L - t_\infty$  は, 潜時ベキ関数により近似できる ( Pieron, 1952 ) :

$$t_L - t_\infty = k \cdot \phi^\beta \quad \text{--- ④}$$

ここで,  $t_L$ ,  $t_\infty$ ,  $k$ ,  $\phi$ ,  $\beta$  はそれぞれ, 潜時, asymptotic 潜時, スケーリング定数, 輝度, ベキ指数を示す。 Fig. 39 (a), (b), (c) にはそれぞれ  $t_L$  の raw data ( 図中  $t_\infty$  が asymptotic latency に対応 ) のプロット,  $t_\infty$  の推定法と  $\beta$  との関係, そして,  $\log(t_L - t_\infty)$  のプロットが示されている。このうち, (c) の直線の勾配がベキ指数に対応する。

④式で、 $k \cdot \phi \beta$  は刺激パラメータに dependent な項で、これが明るさのべき関数①式の右辺に対応する。また、 $\alpha$  は、刺激パラメータに比較的 independent な項で、この中に潜時の個人差や、日変動をくり込むことができる直流成分である。従って、視野により、 $\beta$  や  $k$  がどのように変化するかと、①式と同じ位方で検討すればよいことになる。 $\alpha$  の推定方法については、実験Ⅲで述べる。

#### 5.4 周辺視に於ける潜時の等値曲線 (Equal latency contour)

潜時の等値曲線 (Equal latency contour) は、オス章 2.4 の明るさの等感曲線に対応する概念で、等しい潜時 (criterion latency) に達するために必要とされる輝度量 (d13) を、視野の関数として描いた曲線である。

潜時ベキ関数では $t_L$ の成分中、 $t_L - t_\infty$ の部分をも分析対象とするだけで、この等値曲線をグラフ的に求める手続は、オス章え・4の明るこの等感曲線の場合と同様である。

また、数値的に求める場合は、次式を用いる：

$$\phi = \left[ (t_L - t_\infty) / k \right]^{1/\beta} \quad \text{--- ⑤}$$

## 5.5 周辺視に於ける潜時ベキ関数を規定する要因

MEの場合は、10名前後の観察者の幾何平均値とデータとしたが、潜時では、グループ平均のデータよりも、同一観察者に多数回の試行を課して検討する方が、すぐれた方法と言い得る。従って、以下の潜時の実験では主として、少ない観察者で検討することとする。



る。その他の規定要因は、オス章 2. 5 と同様である。

## 第6章 周辺視に於ける明るさ受容機構の潜 時ベキ関数による検討

### 6.1 Mansfield の実験

Mansfield (1973b) は、 $L - L_{\infty}$  が retinal process により規定されていると考え、刺激の呈示視野 ( $0^{\circ}$  中心視と右眼水平径線上鼻側  $20^{\circ}$  の視野)、大きさ ( $3' \sim 4'$ )、波長 (白色光,  $480 \sim 575 \text{ nm}$ )、呈示時間 ( $0.3 \sim 300 \text{ msec}$ ) を変化させて、その効果が、潜時ベキ関数のベキ指数  $\beta$  にどのように表れるかを検討した。

実験は暗順応下、数名の潜時実験に習熟した観察者を用いて行われた。本節では、直接関連するパラメタの効果のみととりあげて論ずる。

使用された輝度は、 $103.5 \sim 53 \text{ dB re } 10^{-6}$

$\text{cd/m}^2$  の範囲にあった。白色光を用いた場合、 $2^\circ$  の大きさの刺激では、中心視のベキ指数は  $-0.31 \pm 0.01$  ( $t_\infty = 187.5$ ,  $r^2 = 0.994$ )、周辺  $20^\circ$  では  $-0.31 \pm 0.01$  ( $t_\infty = 215.5$ ,  $r^2 = 0.998$ ) であり、視野の差は  $t_\infty$  (28 msec  $20^\circ$  周辺では遅延) のみに現われ、ベキ指数に差は認められなかった(尚、1 データ点は、最低50試行の幾何平均値がとられた)。即ち、潜時ベキ指数は、MEでのベキ指数とほぼ同じ値を示した。また、asymptotic 上 10 msec の criterion 潜時の等値曲線を調べたところ、輝度が photopic の場合は、中心視で上方に鋭い尖りをもつ形状が、また、scotopic の場合は、その逆の形状をもつ曲線が得られた。これらは、他のデータ (e.g. Poffenberger, 1912; Rains, 1963) と合致するものであった。さらに、刺激の呈示時間は、短くても (0.3, 1, 3, 10 msec)、長くても (30, 100, 300 msec) 潜時ベキ関数のベキ指数は共に  $-0.33$  であり、

変化が認められなかった（但し、この場合は刺激の大きさとは  $0.72^\circ$  白色光）。また、所与の輝度水準では、約10msecの長さまでは、呈示時間が長くなると潜時が減少するが、それ以上の長さでは、ほとんど効果のないことが分かった。

結局、Mansfield (1973b) のデータは、潜時ベキ関数は、MEのベキ関数（Mansfield, 1973a）とよく一致することと示しているといえる。但し、彼の場合は、MEでも潜時でも、ベキ指数は視野とは独立적である傾向が認められた。

## オ 7 章

### 7. 実験

周辺視に於ける潜時ベキ関数のベキ指数は、「明るさの変化の仕方」が視野により異なるかどうかを検討する一つの有効な手段である。そこで、オ 4 章で ME で行った検討を、刺激輝度のみをパラメータとして、各呈示視野で行うことにする。

潜時ベキ関数を求めることにより、中心視と周辺視の明るさ受容機構を、ME とは異った指標で推定することが出来る。

#### 7. 1 周辺視の潜時ベキ関数に及ぼす輝度の効果

##### 7. 1, 1 実験 VII

## 目的

刺激の呈示視野を、中心視野から周辺視野へと移動させて  $\alpha_L$  を測定した場合、主として感覚系の特性を反映すると思われるべき指数  $\beta$  と、主として運動系の特性を反映すると思われる  $\alpha_\infty$  は、どのような変化を示すであろうか。ここでも、序論で認定したように、潜時べき指数  $\beta$  と  $\alpha_\infty$  は視野とは独立であると仮定して、次の二つの仮説を立てる。

仮説(1)  $\beta$  は視野とは独立で、明るさのべき指数とは符号のみが異なる同じ絶対値を示す。

仮説(2)  $\alpha_\infty$  も視野と独立である。

尚、本実験は、亭阪(1977b)による。

## 観察者

学部学生5名。いずれも  $\alpha_L$  の個人内分散

を安定化させるため、実験に先立って10セッションの練習試行を課した。

## 手続

刺激は、米国シルヴァニア社製のグロー変調放電管(R1131C)を用いて(実験立参照)。  
 呈示時間は、100 msec(日本光電製、MSE-3型刺激装置)とし、フラッシュ光は、NDフィルタ(Kodak Wratten No. 96)を透過し、乳白色アレクシングガラスで散乱された後、 $\approx 12^\circ$ の円型スリットを通して観察者に呈示された。輝度は、44~94 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>まで10 dBステップで6種に変化させた。凝視野は、約50 dBの発光ダイオード(700 nm)の下方 $1^\circ$ とした。Fore-periodはランダムパルス発生器(Osaka, 1978b, 宇阪, 1978d)により、1~2 secの間でランダム化された。元は、パルスの立上がりから観察者のマイクロスイッチ

の開放時までの時間間隔である。計時は、10 MHz クリスタル原振の4桁デジタルカウンタ（自作品）を用いた。

暗順応後、実験を開始した。尚早反応はゲートとフリップ・フロップ回路による検出回路が、カウンタにリセット信号をかけることで消去された。

刺激呈示視野は、中心視野と $20^\circ$ と $40^\circ$ の右眼水平経線上耳側周辺視野とした。呈示順は全てランダム化した。

## 尤 $\infty$ の推定

1 データ 点は、50個の幾何平均値とした。ベキ指数 $\beta$ は、asymptote, 尤 $\infty$  の関数として変動するので、安定度の大きい $\beta$ の推定法として④式の尤 $\infty$  について、最小二乗近似により、二乗相関係数 $r^2$  が最大値をとる点を尤 $\infty$  とし、 $\beta$  は、この尤 $\infty$  から推定された（④式に最小二乗回帰式をフィッティング



する場合, Fig. 39 b, c に示すように,  $\beta$  と  $r^2$  は  $t_\infty$  の関数として表現される。即ち,  $\beta$  は  $t_\infty$  の増加に応じて増大し,  $r^2$  は  $t_\infty$  の特定の点で最大値をとり, その前後の  $t_\infty$  では,  $r^2$  は急激に減少傾向を示す (Mansfield, 1973 b. p. 2224; Luce & Green, 1972, p. 46)。これは, データ点が最も直線的に並ぶように  $t_\infty$  を定める操作である)。

例えば, Fig. 40 の Y T の中心視条件 (白丸) では  $r^2$  が最大値 (.992) をとる  $t_\infty$  は, 185 msec であり, この  $t_\infty$  から推定される  $\beta$  は -.34 である (Table 5 参照)。この  $\beta$  は, Fig. 42 の直線の勾配に対応している。 $\beta$  の推定精度 (標準誤差) は, 次式によった:

$$\hat{\sigma}_e = \beta \left[ (1/r^2 - 1)/(N-2) \right]^{1/2} \quad (6)$$

ここで  $N$  は刺激数を示す。

## 結果・考察

Fig. 40に、観察者Y.T.のデータ・サンプルを示す。各データ点での標準偏差は44dBではやや大きく（ $\pm 18 \text{ msec}$ ）、94dBでは小さく（ $\pm 10 \text{ msec}$ ）なった。尤小については、約60dB近傍で呈示視野の差が減少し（独立となり）、さらに、60dB以下の輝度では、中心視尤小が約40~55msec他の20°や40°周辺視尤小より大きくなっている。これに対して、54~64dB以上の輝度ではこの関係は逆転し、尤小は40°が最も大きく、中心視で最小となった。そして、尤小も、周辺視と中心視で値が異なり、40°で最大、中心視で最小となった（Table 5参照）。以上の傾向は、他の観察者でも認められた。

Fig. 41は、中心視尤小に対する周辺視20°、40°の尤小の比データ（5名の平均）を示

す。比の値が 1.0 の場合以外は  $\alpha$  が視野と独立ではないことを示している。また、 $\beta$  が視野の効果を受けるとどうかを検討するために、既述の推定法で  $\beta$  を算出した。

Fig. 42 に、3 名のデータ ( $\log(\alpha - \alpha_\infty)$ ) を dB 輝度軸上にプロットしたものを、Table 5 には、観察者毎の推定べき関数パラメータを示す。いずれの観察者でも、 $\beta$  は中心視条件で最も大きく、周辺視と比べると小さくはってゆくことが分る (Fig. 43)。

5 名の平均値データをみると、Table 5 が示すように、 $\beta$  は  $-.31 \pm .01$  (中心視)、 $-.23 \pm .02$  ( $20^\circ$ )、 $-.20 \pm .02$  ( $40^\circ$ ) となり、 $0^\circ$  と  $20^\circ$  の間の差 ( $.08$ ) は、 $20^\circ$  と  $40^\circ$  の間の差 ( $.03$ ) の約 3 倍となった。また、 $\alpha_\infty$ ,  $r^2$  はそれぞれ、周辺視と比べると漸増、或いは漸減してゆく傾向がみられた。

Fig. 44 には、潜時の等値曲線と 3 名の観察者について示した。Fig. 40 や Fig. 42 で表われている 60 dB 近傍での  $\alpha$  の視野による

反転が明瞭に勾配の逆転という型で表われている。グラフ中の数字は、criterion 潜時（記された潜時（asymptotic 上の潜時）を得るために必要とされる輝度量（dlB））を表わす。Fig. 44の曲線は、Fig. 1のモデルでは7のケースの変種に相当すると推定される（但し、勾配は負となっているので、グラフの直線の勾配は逆方向を向いている。）

。  $\beta$  の平均値をみると、中心視の場合、 $-0.31 \pm 0.01$  で、これは Mansfield (1973b) が得た値  $-0.31 \pm 0.01$  (中心視) と良い一致を示している。

やや小さい  $\beta$  値を示した MR ( $-0.23 \pm 0.01$ ) のデータを除外した場合、残り4名の  $\beta$  の平均値は、負の3乗根に近く、 $-0.33 \pm 0.02$  となり、MEのベキ指数  $+0.33$  (S. S. Stevens, 1975) と絶対値が等しくなることから、少なくとも、入力刺激の輝度に依存した component が、明るさの処理機構と類似したベキ法則に従うことが推定される。従って

、仮説(1)は、中心視では妥当である。

他方、周辺視の $\beta$ 平均値は、 $-0.23 \pm 0.02$  ( $20^\circ$ ) 及び  $-0.20 \pm 0.02$  ( $40^\circ$ ) と、中心視より $\beta$ がかなり小さくなることを示している。

これは、既述の Mansfield (1973b) の $20^\circ$  周辺視のデータと一致しない。彼のデータとの相異の原因としては、本実験では(1)視野が耳側であり、(2)刺激呈示時間が長く、(3)約10 dB低い輝度水平をとったこと等が考えられる。しかし、特に(3)の影響が大きいと思われる。

従って、周辺視の $\beta$ については、仮説(1)は妥当でない。

明暗適応時間は、中心視と周辺視の間に明暗適応の遅延があることが知られている。

次に、Table 5 の $t_{\infty}$ から中心視の $t_{\infty}$ を減じた値( $t_{\Delta}$ )をみると、 $20^\circ \sim 40^\circ$ では、6~12 msec の差があることがわかる。こ

れは Mansfield (1973 b) にも報告されている差であり、結局のところ、 $\theta_{\Delta}$  はゼロとはならない。従って、仮説(2)は妥当ではなく、 $\theta_{\infty}$  は視野と独立ではないことになる。

以上、潜時ベキ関数をみる限り、ベキ指数、 $\theta_{\infty}$  ともに、視野とは独立ではないことが判明した。

## 7. 1. 2 実験 Ⅳ

### 目的

実験Ⅲでは、試行に先行して10セッションの練習試行しか行われなかったため、データの分散が少し大きかった。そこで、本実験では、延べ数100セッション以上の経験を有する観察者2名で、実験Ⅳの再検討を行った。

## 観 察 者

潜時測定に習熟した院生 2 名を用いた。

## 手 続

光源は実験Ⅳと同じグロウ変調放電管を用い、 $2.06^\circ$ の刺激と半球面投射視野計に呈示した。輝度は、 $99 \sim 49 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ の範囲の刺激を 1 log unit で変化 (Kodak Wratten No. 96 フィルタ) させたものを用いた。刺激の呈示時間は 100 msec, 計時は 100 kHz の原振のカウエツで行った。凝視野は、 $120'$ の対角視角をもつダイアモンド型 (4ヶの赤色発光ダイオードから成る) に変えた。

検討しにのほ、右眼水平経線上耳側  $40^\circ$  周辺視野と中心視野に限定した。

観 察 者 は、5 g の重さで回路がオニセット

状態に於るマイクロスイッチを fore period (Osaka, 1978b) の間に押え、刺激の呈示と同時にできるだけ速くレバーを release するよう求められた。

1 ブロックは 20 試行で、1 セッションは 8 回の呈示視野ブロックからなり、呈示はランダム化された。

## 結果・考察

Fig. 45 に示されるように、 $\log(L - t_{\infty})$  は、対数輝度の増加と共に減少した。1 テーブルは 140 個の  $t_{\infty}$  の幾何平均値を表わす。2 名の観察者共に  $t_{\infty}$  の標準偏差は、低輝度で約 20 msec, 高輝度では約 15 msec と減少した。

観察者 O.M. では、中心視でベキ指数は  $-0.31$  ( $k=115$ ,  $t_{\infty}=193$  msec,  $r=-0.96$ ), 周辺  $40^{\circ}$  では  $-0.16$  ( $k=123$ ,  $t_{\infty}=205$  msec,  $r=-0.95$ ), また、A.I. では、中心視でベキ



指数  $-0.30$  ( $k=134$ ,  $t_{\infty}=185$  msec,  $r=-.92$ ), 周辺  $40^{\circ}$  では  $-0.18$  ( $k=130$ ,  $t_{\infty}=195$  msec,  $r=-.94$ ) であった。

Fig. 46 には、潜時の等値曲線を示す。パラメタの数字は、それぞれの criterion 潜時を得るために必要とされる輝度量 (dB) で、右上りの直線は、 $40^{\circ}$  周辺では、任意の criterion 潜時 (asymptotic 上の潜時) に達するためには、中心視より  $10-30$  dB 輝度と多く必要とすることと示している。この曲線は、Fig. 1 のモデルではケース 5 (或いは 7) と対応している (但し、潜時ではベキ指数は負の符号をとるため、方向が逆となっている)。

本実験のベキ指数も、中心視では cube root law が成立したが、周辺視では指数値は減少した。また、 $t_{\infty}$  も、 $40^{\circ}$  周辺では約  $10$  msec 増加傾向を示した。ここでも、潜時ベキ関数のベキ指数と  $t_{\infty}$  は、視野とは

独立でないことが明らかとなった。

〔実験Ⅳ, Ⅳでは, 周辺視のベキ指数が減少することが確認されたが, これは, ある意味では, その機構が若干異った構造を有していることを示唆しているといえる。即ち, MEでの明るさの mediation が言語的枠組と介した高次の判断機構(ソフトウェア的)であるのに対し, 潜時の場合は, より入力刺激の物理特性(輝度)に depend する側面が多い明るさ受容機構(ハードウェア)を有する可能性があることである。また, Marks (1974, p.372) は, loudness の潜時ベキ指数は, MEのその約半分の大きさになると報告しているが, 周辺視に於ける指数の減少も, 類似の機構によるかもしれない。しかし, この点については, さらに厳密な明るさの受容機構のモデルを考える必要があり, 将来に残される課題である。〕

## 7. 2 周辺視の潜時ベキ関数と生理的指標との相関関係

ME や潜時測定という精神物理学的方法を用いて、主として末梢レベルの transducer の変換特性を問題にしてきた今までの諸実験に対して、今回の実験は、末梢レベルではなく中枢レベルの変換法則も、ベキ法則で近似できるかどうかと、脳波の誘発電位を用いて、生理レベルで検討しようとするものである。

動物を用いた実験では、ヒトの明るさの ME で得たデータと LGN で得た潜時の間には、ほぼ平行な関係が認められている (Borg, et al, 1968; Marrocco, 1975; Barlow et al, 1978: 但し, Barlow et al の実験では、④式の  $t_{\infty}$  と推定しないで、直接  $t_L = k\phi^{\beta}$  でデータを近似したために、LGN で -0.08 という不当に小さいベキ指数の推定を行っているが、 $t_{\infty}$  を入れると、ほぼ

1/3 になると推定される)。

## 7.2.1 実験 IX

### 目的

脳波の平均加算誘発電位 (computer averaged evoked potential) と、精神物理的、或いは行動的レベルでの関係は、視覚誘発電位 (以下 VEP と略す) の振幅 (みかけの明るさ: Wicke, et al, 1964) や、潜時 (反応潜時: Dustman & Beck, 1965; Donchin & Lindsley, 1966; Eason et al, 1967; Eason & Dudley, 1971) と関連づけて検討されてきた。そして、VEP 潜時と反応潜時 (以下 RT と略す。尚、これは、実験 VII での  $t_L$  と同じ意味である) の刺激輝度、呈示視野の変化に伴う concomitant な変化は、両者がかなり密接な関

係にあることを示唆している (e.g. Eason, et al, 1967)。

しかしながら、これら両者 (生理的と精神物理的指標) の間の関係は、明確にされているとは言い難い。

本実験では、VEP と RT の parallelism を検討することを目的とした。近似方法は、④式の潜時ベタ関数によつて (但し、VEP の場合の  $t_L$  と  $t_\infty$  はそれぞれ、VEP 潜時に関して定義される尺度である)。

本実験は、Osaka & Yamamoto (1978) によつている。

## 観察者

6名の院生と学部学生で、いずれも視覚障害、神経的障害の無い観察者であった。

## 手続

光源は、実験Ⅳ, Ⅴと同様のツルバニ製  
グロウ変調放電管 (R1131C) を用い、フェ  
ルスタ型視野計に取りつけた。光源と散乱  
面 (視角  $1^\circ$ ) の間には、Kodak Wratten No.  
96 ND フィルタを入れ、輝度を  $99 \sim 79 \text{ dB re}$   
 $10^{-6} \text{ cd/m}^2$  に変えた ( $79, 89, 99 \text{ dB}$  の3種  
)。呈示視野は、右眼水平経線上  $20^\circ, 40^\circ$   
の耳側視野及び中心視野であった。フラッ  
ッシュ呈示時間は  $50 \text{ msec}$  (日本光電 MSE-  
3 型) とした。

観察者は、暗順応 (15分間) 後、音遮ツ  
ールド室に入室し、顎固定台で頭部を固定した  
上で、 $32 \text{ cm}$  前方の赤色発光ダイオード ( $700 \text{ nm}$ ,  $0.2^\circ$ ) を凝視した。

脳波は、 $O_1-A_1$  の基準導出法 ( $10/20$  電極配  
置法、抵抗は  $15 \text{ k}\Omega$  以下) により、脳波計 ( $三栄$ ,  $1A12-14$ , 時定数  $0.3 \text{ sec}$ ) で増幅記  
録された。尚、眼球運動の有無をモニタす  
るため、空いてゐる2つのチャンネルで水平  
、垂直方向の EOG が同時に記録された。

刺激のオンセットと同期して、VEPが、1条件につき64回加算された。加算は、500 msecの掃引あたり512サンプリングポイントの分解能で行った（日本光電、ATAC-201）。VEP記録は、X-Yプロッタでアナログ表示された。

一方、潜時(RT)も同時に記録された。計時は、10 MHz 水晶体原振のディジタルカウンタにやった。

尚、刺激は、2~6 secの間でランダムに呈示された。1セッションは、エブロックから成り、各ブロックは64試行から成った。1セッションは、各観察者毎に2日に渡って行われた。

VEPの初期成分の最初の正への deflection (P1) と、これに続く負の deflection (N1) , そして次の正への deflection (P2) の VEP 潜時と、それぞれ計測した。

結果・考察

Fig. 47に、観察者 Y.R. の VEP を示す。  
 いずれの観察者でも、VEP の初期成分と RT の日間変動、個人差は比較的小さかった ( $0.5 \log \text{ unit}$  以下の巾であった)。Fig. 47は、周辺になるほど、また低輝度になるほど、各 deflection の潜時が遅延し、かつ振幅も減少していることを示している。

3つの deflection の中で、RT と VEP の相関係数が最も高かったのは P1 の潜時であった。即ち、RT と P1 の相関係数は、中心視で  $r=0.998$ 、 $20^\circ$  で  $0.994$ 、 $40^\circ$  では  $0.966$  であった。他方、N1 と P2 の潜時は、RT との相関が低かったため、指標として P1 のみととりあげた。

ここで一つ問題になるのは、RT と VEP と同時に測定しているために、RT に随伴した motor component が VEP の波形に影響を及ぼすことである。しかし、これは、



Fig. 47 で示すように、RT (矢印) が全て、既述の 3 つの初期成分より遅延して出現するので、重大な影響はないものと考えられる(但し、late component には、その影響が及ぶことがあるという (Wilkinson & Morlock, 1967; Karlin et al, 1971) )。

Fig. 48, 49 にはそれぞれ、VEP (P1 潜時) と、RT の潜時ベキ関数を示す。いずれの場合にも、グラフの縦軸は  $\log(T - T_0)$ ,  $\log(RT - RT_0)$  で、 $T_0$ ,  $RT_0$  は実験で述べた  $t_{\infty}$  の推定法により求めた。尚、1 データ点は、6 名の観察者の潜時の幾何平均値を示している。いずれの図でも、負の直線の勾配が、潜時ベキ関数のベキ指数を示している。

これらの図は、(1)  $\log(T - T_0)$  と  $\log(RT - RT_0)$  の減少は、両方共に対数輝度の増加と関連すること、(2) 両潜時共に、周辺視となるほどその値が増加傾向を示すことを表してい

る。

また、Fig. 50には、両潜時の潜時の等値曲線を示す。いずれも、どの criterion の潜時 (asymptotic 上の潜時) でも、周辺へゆくほど criterion 潜時を維持するためには 5 ~ 10 dB 中心視よりも多く輝度を必要とすることを示している。これは、Fig. 1 のモデルでは、ベキ指数が視野と比較的独立な傾向を示すケース 3 に類似している。事実、Table 6 に示されるように、ベキ指数は RT でも VEP でも、中心視ではやや大きい値を示しているが (VEP の  $40^\circ$  条件は除いて)、 $20^\circ$ ,  $40^\circ$  の周辺視でもほぼ  $-1.33$  に近い cube root law にのっていることが分る。これは、実験Ⅳ, Ⅴで求めた周辺視でのベキ指数の減少は、その減り方がより少ないという結果を示している (但し、 $RT_0$ ,  $T_0$  の周辺視での増加傾向は同じであった)。本実験で、周辺視でベキ指数が実験Ⅳ, Ⅴより若干増加した理由は、おそらく、刺激の面積の効果

が周辺視で表われたためと考えられる（4章，4.1及び実験I参照）。

即ち，実験Ⅳ，Ⅴでは，視角約 $2^\circ$ の刺激を用いたため，周辺視での面積効果が作用してベキ指数を減少させたのに対して，本実験では $1^\circ$ の刺激を用いたので面積効果は $\frac{1}{4}$ に減少してしまい，これがベキ指数の増加につながったと推定される。この点に関しては，さらに詳細な検討を要すると思われる。

尚，中心視で $1.5^\circ$ の刺激を用いた Vaughan, et al (1966) のデータは，ベキ指数は $-0.36 \sim -0.44$ の範囲にあり，少なくとも中心視データでは本実験で得た $-0.32 \sim -0.33$ とほぼ一致している。

結局，末梢レベルでも1次的な中枢レベルでも，入力刺激の明るさ受容機構の変換法則は，類似のベキ法則により支配されていると推定される。

### 7. 3 結論と要約 (実験 VII ~ IX)

ME との比較の観兵から、潜時ベキ指数のベキ指数が刺激の呈示視野に伴って変化する (視野と非独立) かどうかを検討したところ : 中心視では ME と同じ cube root law が成立したが、周辺視では若干小さなベキ指数が得られた (実験 VII, VIII)。従って、潜時ベキ指数も、ME のベキ指数と同様に視野とは独立でないことが確認された。また、生理的指標 (中枢レベル) としての視覚誘発電位 (VEP) の潜時のベキ指数と反応潜時のベキ指数を検討したところ、中心視では、VEP, 潜時共に cube root law が成立した。そして、周辺視でも、一般にベキ指数は減少したが、その減り方は実験 VII, VIII より少なく、ほぼ cube root law にのった (実験 IX)。

しかし、いずれの場合も、中心視では ME

と同じべき法則 (cube root law) があてはまるが、周辺視では cube root law からややズレていることが分った。これはやはり、視覚誘発電位も潜時も視野とは独立でないことを示唆しているといえる。

## オ8章 その他の周辺視についての関連実験

MEでも潜時でもベキ指数は「明るさの変化の仕方」が視野によって如何に変化するかを調べる一つの有効な手段であった。しかし、任意の周辺視野のベキ関数を求めるためにはその視野で複数の等輝度曲線 (Equal luminance contours) を手回をかけて求めなければならなかった。けれども、ベキ指数を求めない場合は、刺激を1つの輝度水準に固定して、その輝度が各視野で惹起する明るさや潜時を測定検討することによっても周辺視の中心視との相異は抽出できる。本章の関連実験では全てベキ指数ではなく(実験XVを除く)単一の等輝度曲線を求めることによって周辺視の断面的検討を種々の側面から行った。

以下に報告する実験は実験I～IXを実施中に行った関連実験、或いは補足実験である。

## 8・1 実験Ⅹ（周辺視の屈折効果）

### 目的

眼光学系を1つの光学的屈折系とみると（LeGrand, 1967; Pirenne, 1970）刺激のみかけの方向は $10^\circ$ 以内の中心視では物理的な方向と一致するが（Clemmesen, 1944; Ferree & Rand, 1933; Ferree et al., 1931）、周辺視となるほど角膜と水晶体の屈折作用でみかけの刺激の位置が物理的位置とズれてくる。これは、序論1・4の(2)の屈折異常に伴うものである（Millo dot & Ramont, 1974）。即ち、正常眼では光学軸から $10^\circ$ 以内では眼球屈折面がほぼsphericalな型をしているため刺激の像のdistortionはほとんど生じないが、周辺ではsphericalでなくなるため像のdistortionを伴、みかけの位置の変化が生じるのである。

。この現象は古くは Helmholtz によって観察されているが、周辺視との関連に於て検討された例は大変少ない。例えば、運動岡 (Leibowitz, 1972) や水平垂直錯視 (Thompson & Schiffman, 1974) がこの向題と関連して論じられたことがあるにすぎない。

このいずれの実験も網膜レベル以前の光学系の屈折によってある程度実験データの解釈を試みたものであった。

### 観察者

2名の正常眼を有する院生を用いた。両者共に屈折異常は認められなかった。視力は、20/20以上であった。

### 手続

半球面投射視野計とグロー放電管 (R1131 C) を用いた。刺激の輝度は  $65 \text{ dB re } 10^{-6}$



cd/m<sup>2</sup>、大きさは 44'、呈示時間は 50 msec であつた。呈示視野は 10°, 20°, 30°, 40°, 50° の右眼水平径線上耳・鼻側視野及び同垂直径線上上・下側視野の計 20ヶ所であつた。赤色発光ダイオードを凝視桌に用いた。観察者は顎固定で頭部を固定し 32 cm の距離から刺激を観察した。50 msec の呈示時間は saccadic な眼球運動を抑制するため用いられた (Riggs et al., 1954)。10 分の暗順応後、観察者は自然瞳孔で周辺刺激を観察した。観察者は刺激が消失した直後にできるだけ早く刺激が呈示された位置を右手で pointing した。そして、この pointing された位置がみかけの位置(方向)とされ、これと物理的呈示位置とのズレが測定された。呈示視野はランダム順とした。本実験は、Osaka (1977a) による。

## 結果・考察

Table 7 に示すように、いずれの条件でも周辺視となるほどズレの角度が増大しているのが分る。また、このズレは耳側視野で大きいことが分る。1 データ表は 40 試行の平均値を示す。2 要因の分散分散の結果、呈示視野と 4 つの半視野 (half meridian) の効果はそれぞれ有意であった ( $F(4, 11) = 102.00, p < .001$ ;  $F(3, 11) = 11.93, p < .001$ ) さらに、各半視野で最小二乗近似した直線の勾配は、耳側視野 (.15)、鼻側視野 (.13)、下側視野 (.13)、上側視野 (.11) であった。これらのデータは角膜表面での屈折力が各視野で異なることを示唆している。屈折以外にも focal length の相異に基づいて off-axis 入力の刺激像は歪みをうける。これは、oblique astigmatism (Bennett & Francis, 1962; Campbell et al., 1974)、lateral spherical aberration (Duke-Elder, 1970; Ivanoff, 1956) や coma (Bennet & Fran-

cis, 1962) が周辺視ほど生じやすいことにある程度は起因している。しかし、これらの歪みは網膜自身が湾曲していることによつてかなり補償されている。従つて、この歪みの因は全光学系 (42 diopters) の  $\frac{2}{3}$  の屈折力を有する角膜の前・後屈折面がより大きな影響をもつたためと推定する方が合理的である。この視野の歪みは周辺視野ほど大きい。従つて、周辺視野は全体に中心視野の方向へ縮められてみえることになり、これは明らかにみえの視野の非ユークリッド性が上下左右の視野で異なっていることを表しており、心理学的に興味深い。しかし、観察者は周辺視の生理機序の anatomical coarseness のためこの現象にはほとんど気付かないように補償されているのも興味ある現象である。

## 8・2 実験Ⅺ（周辺視の時間分解能）

### 目的

序論 1・6 で述べたように、中心視と比較して、周辺視は空間分解能（視力）も時間分解能も低いといわれる。しかし、最近の研究では、周辺視は transient を刺激に対して中心視よりすぐれた時間分解能を有するといわれている（Schneider, 1969; Enroth-Cugell & Robson, 1966）。本実験では周辺視で比較的 insensitive といわれる 700 nm の赤色光で時間分解能を検討する。本実験は Osaka (1977b') による。

### 観察者

5名の院生を用いた。

### 手続

同じ呈示視野に2つの継時的に呈示させたパルス光の最小感知パルス間隔 (minimum perceptible inter-pulse interval : 以下 I P I と略す) が 5 msec ステップの極限法により測定された。

呈示視野は右眼水平径線及び垂直径線上の耳・鼻側、上下視野 ( $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ) と中心視野の計 21 ヶ所であった。赤色発光ダイオード ( $700\text{ nm}$ 、半値幅  $100\text{ nm}$ ) の輝度は約  $84\text{ dB re } 10^{-6}\text{ cd/m}^2$  であった (立上がり、立下がり時間は  $0.01\text{ msec}$ )。呈示時間は  $100\text{ msec}$  (Unitec, UDT-306, UL-101, プログラミングモジュールを用いた)。刺激の大きさは  $47'$  であった。観測者は暗順応後、 $0 \sim 50\text{ msec}$  ( $5\text{ msec}$  ステップ) で極限法により  $\text{DADAAADAD}$  のランダム呈示順で I P I を求めた。I P I は Fig. 51 に示すように両側を  $100\text{ msec}$  のパ

ルス(固定幅)ではさまれた時間と定義された。

### 結果・考察

Fig. 51 に結果を示す。1 データ表は、40 試行の平均値、垂直線は SD を示す。分散分析の結果、視野の主効果 ( $F(10,40) = 22.83, p < .001$ ) と視野  $\times$  径線 ( $F(10,40) = 6.87, p < .001$ ) に有意差が認められた。

Fig. 51 の如く IPI は水平・垂直両径線で視野の W-型関数として変化した。この結果は中心視では Kietzman & Sutton (1968) と一致する。しかし、興味深いことには minimum IPI は中心視ではやや大きくなり、 $20^\circ$  周辺で最小値をとっていることである。赤色光にもかかわらず W 型になったのは輝度が錐体閾値をこえていたこととも関連があるが、 $20^\circ$  前後の middle periphery はむしろ、中心視より時間分解

能がすぐれていることを示している。

### 8・3 実験 XII ( 周辺視の面積効果I)

#### 目的

潜時は周辺視ほど増加することが知られている ( Hall & Kries, 1879; Poffenberger, 1912; Lichtenstein & White, 1961; 菅阪, 1973 )。また、順応条件も潜時を規定する ( Lemmon & Geisinger, 1936; Galifret & Piéron, 1948; Bartlett & MacLeod, 1954; Rains, 1963; Payne, 1966; Mansfield, 1973 )。さらに、輝度の効果は比較的よく検討されているが、周辺視での面積に伴う潜時の変化を系統的に調べた研究は少ない ( Baumgardt & Hillmann, 1961; Hufford, 1964;

Teichner & Krebs, 1972 ; Dwyer & White, 1974 )。 周辺視の方が面積の効果が大きいため (  $1 \cdot 5 \cdot 1\alpha$  ) 刺激の面積の増加は中心-周辺視の潜時の差を小さくすると考えられる。 また、所謂受容野の面積も周辺視ほど増大するのでこれが空間加重効果を強めるともいわれる (Hallett, 1963) 。 ここでは、実験IのMEでは周辺視で面積効果が認められたが、潜時を用いた場合も面積効果が表れるかどうかを水平径線上視野で検討する。 本実験は Osaka (1976b) による。

### 観察者

2名の潜時実験に習熟した観察者を用いた。 両者共に右眼視力は 20/20 で正常眼であった。



## 手続

半球面視野計(半田屋, HE-130)を用い、光源はグロー放電管(R1131C)を用いた。呈示視野は中心視野と右眼水平径線上 $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ の耳側・鼻側視野とした。刺激の大きさは $18'$ ,  $44'$ ,  $69'$ ,  $116'$ の4種、輝度は $65 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ であった。凝視野は対角線視角 $120'$ の4ヶの暗い4素色点(Kodak Wratten No.29 フィルタ)から作られた。100 msecの呈示時間は方形波パルス発生器(日本光電, MSE-3)により、計時は100 kHz原振のデジタルカウンタ(竹井製)を用いた。暗順応後、観察者は凝視野をみつめ、刺激が出ると同時にマイクロスイッチのレバー(オムロン, タイプ X10GW4)を離した。Foreperiodは1~2 secの間でランダムに変えられた(Osaka, 1978b)。試行間隔は約10 sec 1ブロックは30試行で、刺激の大きさの異

る2つのセッションをA B B A 順で毎日行った。

## 結果・考察

Table 8 と Fig. 52a, b に結果を示す。  
 1 データ 莫は 140 試行の平均値を示す (Fig. 52 の破線は最小二乗近似線を表わす)。  
 平均潜時 (R T) はいずれの面積条件でも周辺視となるほど増大傾向を示している。  
 Fig. 52 b には 3 次元的に表示されたデータを示す。 図中 A, B, C, D はそれぞれ、  
 18' - 116' の刺激の大きさを示す。 3 要因の分散分析 (視野 × 刺激面積 × 観察者) は全ての主効果に有意差があることを示唆した (それぞれ、 $F(3, 30) = 190.82, p < .01$ ;  $F(10, 30) = 207.99, p < .01$ ;  $F(1, 36) = 393.89, p < .01$ )。さらに、観察者 × 面積 ( $F(3, 30) = 22.51, p < .01$ )、観察者 × 視野 ( $F(10, 30) = 11.95, p < .01$ )、視野 ×

面積 ( $F(30, 30) = 1.97, p < .05$ ) の相互作用項にそれぞれ有意差があった。面積の効果をみるために最小二乗近似の直線の勾配を求めたのが Table 9 である。勾配 ( $\alpha$ ) をみると、いずれの視野でも中心視の勾配は周辺視のそれより値が小さい。これは、周辺視での面積の効果が中心視より大きいことを表している。さらに、視野差をみたデータを Table 10 に示す。このデータは中心視と両側  $10^\circ$  の間の差が有意に大きいことを示唆している。Table 11 には全体の周辺度数を示す。さて、周辺視の勾配が中心視の勾配より少し大きいのは、周辺視の空間加重効果が中心視より大きいことを示唆している。

例えば、Fig. 52 の MY では中心視ではその加重効果は  $69'$  までであるが、周辺視では  $116'$  まで効果をもつ場合があることが分る。これは、受容野の大きさが周辺視で大きくなっている事実と対応すると思われる (Enroth-Cugell & Robson, 1966; Ikeda

& Wright, 1972a, b; Robson, 1975; Stone & Fukuda, 1974; Jung, 1973; Sekuler, 1975)。空間加重効果は受容野の大きさと刺激の大きさが overlap したときに最も大きいと考えられる。これを両観察者のデータにあてはめると Fig. 53 の仮定がよくあてはまるようである。また、両視野の潜時差では耳側視野の方が有意に小さい潜時を示すことから、この時間差は両半球間の移行時間(両観察共に右利手のため右視野呈示の刺激は脳梁を経ないで右手運動野に達する)に対応していると思われる(Poffenberger, 1912; Rains, 1963; Berlucchi et al., 1971; Maddess, 1975)。この点に関してはさらに検討を要すると思われる。

## 8・4 実験 XIII (周辺視の面積効果II)

### 目的

実験Ⅷでは水平径線上視野を検討したが、本実験では、中心視野の回り (around fovea) の周辺視野を  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$  まで極座標的に検討する。

### 観察者

潜時実験に習熟した2名の院生を用いた。

### 手続

実験Ⅷと同様。但し、輝度は  $73 \text{ dB re } 10^{-6} \text{ cd/m}^2$  とした。呈示視野は  $0^{\circ} \sim 330^{\circ}$  の極座標上を  $30^{\circ}$  ステップで切った計12ヶ所の周辺視野とした。但し、中心窩から各測定点へは  $30^{\circ}$  の距離をとり、極座標の  $0^{\circ}$  は

垂直径線上の上側視野とした (Fig. 54 参照)。

## 結果・考察

Fig. 54 に結果を示す。標準偏差 (SD) はいずれの条件でも 13 ~ 20 msec の間にあった。分散分析の結果、視野と刺激の大きさの主効果には有意差があった ( $F(12, 12) = 13.72, p < .001$ ;  $F(3, 3) = 15.93, p < .05$ )。しかし、面積の大きさと視野の相互作用項には有意差が認められなかった。Fig. 54 は、刺激の大きさが増加すると潜時は減少すること、また、耳側及び下側視野はその反対側視野よりそれぞれ小さい潜時が得られた。

中心視の潜時と各周辺視の潜時の間には全ての大きさの条件で有意差が認められた ( $\chi^2(99) \geq 7.61, p < .001$ )。Table 12, 13 にはそれぞれ対角視野の潜時の差とその検定結果、周辺平均が示されている。MY

では6ヶ所、NOでは1ヶ所だけ上側及び鼻側視野で短い潜時が得られたが全体的には Table 13 にも示されるように耳側-下側視野が有意に潜時が短いことが分る。また、面積の効果も周辺では大きいことが分る。

#### 8.5 実験 XIV (周辺視の耳側-鼻側差)

##### 目的

実験 VII と VIII ではいずれも耳側視野、下側視野で潜時が小さいことが分った。そこで、本実験では潜時の耳・鼻側の差が呈示視野によって系統的に変化するかどうかを検討する。尚、本実験は Osaka (1978c) によっている。

##### 観察者

潜時実験に習熟した2名の院生を用いた。  
いずれも右利手を有する。

### 手続

右利の観測者に右手で反応キイを操作させて潜時を計測すると、右眼耳側視野呈示の方が鼻側視野よりも潜時が小さいことが知られている (Poffenberger, 1912; Jeeves, 1969, 1972; Jeeves & Dixon, 1970)。これは両半球間の脳梁伝達時間の分だけが鼻側視野呈示では必要とされることにより、していると推定されるが、この仮説(半球間移行時間による遅延仮説)は未だ controversial な側面 (Kinsbourne & Fisher, 1971; Reynolds & Jeeves, 1974) もあるが興味深い仮説である。最近 Gazzaniga (1970, pp. 155-6) は中心窩の  $1^\circ$  左右にドットを呈示して潜時の差を検討したがその差は



系統的な変化を示さなかった。しかし、Pöffenberger (1912) は耳側視野の方が 6 msec 鼻側より速いことを見出しており、また近年の研究 (Jeeves, 1969, 1972; Jeeves & Dixon, 1970; Rains, 1963; Osaka, 1976a; Maddess, 1975; Payne, 1966, 1967) も耳側視野の優位性を示すデータを出している (3 ~ 25 msec の差があるといわれる)。さて、Gazzaniga の研究では 8 名のうち 4 名は耳側視野で優位なデータを示しているが、実験の実施に当る、ての眼球運動の可能性やデータのバラツキの大きい点を考慮すると問題があると思われる。そこで、この種の実験に習熟した観察者を用いて、眼球運動 (水平・垂直 EOGs) 等もモニタしながら差の問題を検討した。装置には投射半球面視野計、光源には 100 msec 呈示のシルヴァニア製グロー放電管を用い、刺激の大きさは  $1^\circ$  であった (詳細は副論文参照)。

## 結果・考察

Fig. 55 と Table 14 に結果を示す。NO では全体のSDは  $18.36 \pm 2.63$  msec、MYでは  $18.86 \pm 2.01$  であった。個人差はあるが、Fig. 55 の如く、潜時は周辺視になるほど増加している。平均潜時は中心視から両側へ  $10^\circ$  で急激に上昇している。分散分析では個人差も視野の効果も有意であった ( $F(1,10) = 33.47, p < .001$  ;  $F(10,10) = 17.57, p < .001$  )。2名共に、耳側視野呈示でいずれの周辺視野でも有意に速い潜時を示した。

また、その差の潜時も周辺ほど漸増してゆく傾向が認められた。これは前述の仮説が正しいこととさらに周辺ほどその移行時間が遅延することを示唆している。しかし、この問題はさらに高次の実験課題(負荷)を課して検討する必要があると思われる。

## 8・6 実験 XV ( 周辺視の可視度の回復過程 )

### 8・6・1 実験 XV<sub>a</sub> ( 輝度の効果 )

#### 目的

実験Ⅳでは Troxler fading 効果に伴う低輝度小面積の刺激が時間経過と共に急速にその明るさを減衰させてゆく様相をみたが、本実験では、暗順応した周辺視野の中に強すぎる輝度対比を惹起するフラッシュ刺激を呈示した時に生じるグレア (glare) がテスト刺激の可視度に及ぼす効果を検討する。これは、周辺視野での local adaptation によって一時的に視世界の安定性を部分崩壊させて、逆の角度から Troxler 効果 (Clarke, 1957, 1960, 1961) を検討することの意味している。グレア刺激によって、その周辺視野に

localな adaptationが生じ、これが一過性の可視度の低下を招来した時、その周辺視機能の部分崩壊後の空白時間とその回復過程は人間工学的にも興味ある過程である。本実験は菅阪(1978a)によっている。

## 手続

Fig. 56 に実験装置上面図とブロックダイアグラムを示す。フェルスター型視野計の弓状部分に R1131C をセットし、刺激の大きさは  $0.7^\circ$  のみを用いた。順応フラッシュ(グレアフラッシュ)の呈示時間は 100 msec、輝度は 89, 79, 69, 59 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup> の4種を用いた。テスト光としてはピーク波長 700 nm (半値幅 100 nm) の  $0.2^\circ$  の赤色発光ダイオード(約 61 dB)を用いた。順応フラッシュとテスト光はハーフミラーで重なり合わせて同時呈示された。観察者は、赤色テスト光を周辺視で視認した後、

ランダムに4種の輝度に100 msec 順応し、その直後に赤色光を視認できると同時に反応キイを離すよう教示された。呈示視野は、右眼 $0^\circ$ と $20^\circ$ 、 $40^\circ$ の耳側視野であった。残像を除くため試行時間間隔をやや長くした。

### 結果・考察

Fig. 57a, b に結果を示す。1データ点は15試行の対数幾何平均値を表し、垂直線はSDを表す。図の横軸は、順応フラッシュ光の輝度の対数をとったものを( $0^\circ$ は59 dBに対応)、縦軸に潜時の対数( $\log(\text{セーオ}\infty)$ )をとったものを示す(セー,  $\infty$ については実験VII 参照)。分散分析の結果、個人差、輝度、呈示視野の主効果のみに有意差が認められた( $F(1,6) = 28.54$ ;  $F(3,6) = 16.27$ ;  $F(2,6) = 17.07$ ; いずれも  $p < .001$ )。これは、輝度水準の差の効果が呈示視野

の差にあまり効果をもたないことを示している。Table 15 上には潜時ベキ函数のパラメタを示す。ベキ指数は中心窩で最も大きく、逆に大隅(した)は中心視では小さいことが分る。これから(1)中心視の方が周辺視より回復時間が約300~600msec速く(2)回復時間はグレア輝度の増加と共に増大し、最大グレア輝度(89dB)では1.2sec(中心視)から1.8sec(周辺視)までを要することが分る。但し、周辺視条件面では著しい差が認められなかつた。

## 8・6・2 実験XVb(呈示時間の効果)

### 目的

グレア呈示時間の効果を検討する。

### 観察者

実験 XV<sub>a</sub>と同じ。

### 手続

グレア順応フラッシュ輝度は 89 dB に固定し、呈示時間のみが  $0.3 + \log \text{ units}$  で 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 及び 1000 msec に変えられた。他は実験 XV<sub>a</sub> に同じ。

### 結果・考察

Fig. 58 a, b に結果を示す。分散分析では 3 つの主効果のみ有意差が認められた (個人差、 $F(1, 16) = 14.83$ ; 呈示時間、 $F(8, 16) = 51.20$ ; 呈示視野、 $F(2, 16) = 23.22$ ; いずれも  $p < .001$ )。潜時べき関数のパラメータを Table 15F に示す。ここでは、中心視の指数は逆に中心視で最少、周辺視で最大とな、

た。しかし、 $\infty$  (中心視) はやはり中心視で最も小さかった。結局、(1) 順応グラフが約 20 ~ 100 msec までは回復時間は、ほぼ  $40^\circ$ 、 $0^\circ$ 、 $20^\circ$  の順で速いが、(2) 約 100 msec 以上の順応グラフとなると中心視の方が回復時間が周辺より速くなることが分る。また、個人差はあるが、(3) グラフ呈示時間が長くなると回復時間が遅延する一般的傾向が認められる。ちなみに、1-sec 呈示の場合は、約 2-sec (中心視) から約 3.7-sec (周辺視) もの回復時間を要する。Fig. 58 の破線は順応グラフフラッシュなしの場合の潜時と SD を示している。Table 15 下の指数が示すように 1-log unit の輝度水準の変化に対して、中心視は周辺視よりやや小さな回復時間を示している。それに対して、 $40^\circ$  周辺視がかなり大きな指数を示しているのは、呈示時間に依存している一種の時間加重効果が  $40^\circ$  の遠周辺視になるとかなり異なっていることを示唆していると思われる。また、



Fig. 58aのデータで、 $20^\circ$ ,  $40^\circ$ 周辺で10~100 msec の間で hump がみられるのは、周辺視に於ける Broca-Sulzer 効果によるものと思われる。いずれにしても遠周辺視でのさらに詳細な検討が必要とされよう。

結局、グレア状順応フラッシュに対する反応潜時遅延のものも周辺視では中心視より遅延するが、さらに、フラッシュ光の輝度や呈示時間が増大すると、そのテスト刺激光に対するマスキング効果は一般に周辺視に於て強くなるという結果は、ヒトの眼が暗順応下にあるときは、周辺視の急激な local adaptation による一過性の視機能の部分崩壊が時間的にかなり著るしい空白時間を招来することを示している。主観的には、周辺視野に突然出現した局所的な「まぶしさ」(Luckiesh & Moss, 1937; Luckiesh & Guth, 1949; 真辺, 1964) がその後数秒間の「目つぶし」的波及効果 (Brown, 1964, 1965) をもつ

ことを示唆している。

## 実験 XVI (擬似ランダムパルスの発生)

### 目的

潜時測定に際しては Foreperiod をある範囲内でランダムにする必要がある。ランダムパルスの発生法には、アナログ発振回路とフィルタ回路を組合わせたノイズ発生回路、ホワイトノイズダイオードを応用したアナログ回路によるランダムパルス発生法があるが、これらはいずれも製作が困難であり信頼性にも乏しい。そこで、簡単に制作のできるデジタルランダムパルスを自動発振するオシレータを製作した。これは、Osaka (1978b; 堺阪, 1978d) による。

### 手続

回路は全てTTL (Transistor-Transistor-Logic) 論理集積回路によった。この素子のゲート機能はブール代数に従い、ランダムパルスは初期値に対応した完全な再現系を有する。これは、パルスの発生が原始多項式によっているためである(副論文参照)。

Fig. 59 に 10ビットの擬似ランダムパルス発生の原理を、Fig. 60, 61にその実際の回路例を示す。この系は最大周期長線型シフトレジスタ発生カウンタと呼ばれるように、本質的には  $2^N - 1$  周期を有するカウンタである。即ち、レジスタ段数が 10ビットの場合は  $2^{10} - 1 = 1023$  がその周期となる。また、XOR (排他的論理和) の演算素子でフィードバックをとるレジスタの位置はユニークに定まっている。また、Fig. 62 には発生の機構がマトリックス演算のくり返し乗算によることを示している(副論文参照)。

## 結果・考察

出力パルス列の自己相関  $\phi(\tau)$  を求めることにより、ランダム性を検討した。即ち、まず任意のサンプリング区間について自己共分散関数  $R(\tau)$  を求め、それから自己相関関数  $\phi(\tau)$  を求めた。Fig. 62 にはマトリックス演算の方式と、出力パルスの間隔ヒストグラム (Fig. 61 の回路; 指数分布に近い) を示す (Fig. 60 の回路では「1」と「0」の二様分布)。Fig. 63 には Fig. 61 に示した回路の出力パルス (エッジ変換後の) の  $\phi(\tau)$  を  $\tau$  の関数として示す (Fig. 60 の回路でもほぼ同じものが得られた)。Fig. 63 はこのパルス出力系がほぼ擬似ランダムであることを示している (詳細は副論文参照)。このようなパルス列による Foreperiod の生成は潜時の同期反応によるバイアスを防ぐには十分なものと考えられる。

## 8・8 結論と要約(実験Ⅴ～ⅩⅦ)

7つの関連実験では次のことが分った：周辺視ではみかけの刺激の呈示位置が変化すること、特に耳側視野ではその度合が大きいことが判明した(実験Ⅴ)。また、100msecの赤色光パルスにサンドウィッチ型にはさまれたパルス間隔の最小知覚角は周辺視20°で最も小さく、中心視ではやや高かった(実験ⅩⅠ)。これらのデータは周辺視の研究に際しての注意すべき点と思われる。さらに、潜時実験でも面積の効果が周辺視でより大きいことが水平・垂直・極座標上の視野で確認された(実験ⅩⅡ, ⅩⅢ)。そして、水平径線上の耳・鼻側の潜時差は常に耳側視野呈示条件が潜時が小さく、また、周辺になるほど差が漸増傾向を示すことが判明した(実験ⅩⅣ)。次に、順応グレア光が周辺視野に局所順応を惹起した時のテスト光の可視度の回復時

間は、グレア光の輝度と呈示時間の増加によって遅延傾向を示した。これは、一過性の局所順応に伴う「目づぶし的」時間が数秒つづくことを示唆した(実験XV)。最後に、既述の潜時実験に用いたランダムパルスの統計的性質を再検討し、その出力系がほぼ擬似ランダムになることが判明した。これらの関連実験は、いずれも実験I～IXの実施前後に行った補足的実験であるが、その結果はいずれも実験I～IXで求めたMEBで潜時ベキ関数の結論を支持していると思われる。

## 第9章 全体の要約

### 9.1 全体の結論と要約

まず Fig. 64 に実験 I ~ XVII の流れ図を示す。  
 実験 XVII を除く他の15 実験は全て周辺視に於ける明るさ受容機構の種々の側面からの精神物理学的検討である。実験は大きく分け①マグニチュード推定法 (ME) によるべき関数のパラメタの推定を行った実験 (I ~ VI), ②潜時によりべき関数パラメタの推定を行った実験 (VII ~ IX), さらに③べき関数によらない関連実験 (X ~ XVII) から構成された。別の観点から分類すると、①, ②は複数の等輝度曲線による「明るさの変化の仕方」と異った指標を用いて検討した実験であり、③は単一の等輝度曲線による周辺視の検討実験ということとなる。いずれの実験でも、中心視と  $10^{\circ}$  ~  $80^{\circ}$  前後の周辺視の明るさ受容機構がべき指数、閾値曲線や等輝度曲

線が視野と独立かどうかをゆゑに検討された。

以下、主な結論と箇条書に要約する。

実験 I — 閾値レベルで認められた周辺視  
(面積 での面積効果が閾上レベルでも確  
効果 認された。ベキ指数は一般的に  
ME) 刺激面積が小さくなるほど、また  
周辺視になるほど増大した (Fig.  
37)。明るさの等感曲線は低輝  
度、周辺となるほど減少した。  
即ち、ベキ指数は視野と独立では  
なかった。

実験 II ~ IV — 1 msec ~ 60 sec の刺激の  
(時間 呈示時間を変化させると、1 ~ 100  
効果 msec ではベキ指数は中心視で最大  
ME) 、周辺視ほど減少し、Blochの法  
則が成立した。また、100 ~  
1000 msec ではベキ指数は周辺が



中心より若干大きくなり、周辺視のみに Broca-Sulzer 効果が認められた。次に、1~60 sec ではベキ指数はやはり周辺視の方が中心視より若干大きくなり、Troxler 効果が認められた (Fig. 38)。  
 中心と周辺のベキ指数は、約 100 msec で大きさが逆転した。

また、明るさの等感曲線ほどの呈示時間でも周辺ほど減少した。

即ち、ベキ指数は呈示視野と時間に関係して依存した。

実験 V~VI — 面積、時間の効果が最も安定  
 (視野効果 ME) ある条件下で、ベキ指数、閾値曲線と閾上の明るさの等感曲線の相互関係が、暗・明順応下で分析された。両順応条件下で、ベキ指数は周辺ほど漸増した。また、閾値曲線は明るさゼロの明るさの

等感曲線ではないことが判明した。  
 。 明順応条件下では明るさの等感曲線は上昇、暗順応条件下では減少した。 即ち、ベキ指数は視野と独立でなく、これが、等値曲線が明るさ等感曲線を形成しない原因と考えられる。

実験 VII ~ VIII — 潜時ベキ関数のベキ指数は中  
 (視野 心視では負の三乗根に近い値をと  
 効果 り、周辺視では値が増加(絶対値  
 潜時) の減少) した。 潜時の等値曲線  
 は criterion 潜時の小さい場合は  
 上昇、大きい場合は減少傾向を示  
 した。 これらはいずれもベキ指  
 数、等値曲線が視野と独立でない  
 ことを示した。

実験 IX — 潜時ベキ関数が眼疾の誘発電位の  
 潜時に適用され、ここでも類似

の潜時ベキ指数を得た。即ち、  
ベキ変換は末梢レベルのみならず  
オ1次視覚中枢でも確認された。

等直曲線も上昇傾向を示し、ベ  
キ指数が視野と独立ではないことを  
示した。

実験Ⅷ～Ⅺ — 周辺視では光の off-axis  
(位置 entranceにより刺激のみかけの呈  
効果 示位置が変化する事が分った。  
と時間 また、時間分解能も  $20^\circ$  付近で  
分解能) は中心視よりすぐれていることが  
分った。 いずれのデータも視野  
とは独立ではないことを示唆してい  
る。

実験Ⅻ～Ⅻ — MEで確認された周辺視での  
(面積 面積効果が単一等輝度曲線で認め  
効果, られた。 即ち、周辺視では面積  
潜時) が大きくなるほど潜時は減少した。

・ 視野と潜時は独立ではなかった。

実験 XV — 耳側視野（右眼右視野）呈示の  
（視野 方が潜時が短いことが確認されに  
差, 潜 ）。また, 潜時は周辺ほど遅延し  
時 ）, 視野差も増加した。これも、  
半球間移行時間の遅延に対応する  
ものと考えられる。 視野と  
潜時は独立ではなかった。

実験 XVI — グレア順応フラッシュが周辺部  
に照射された直後の刺激検知時間  
は、グレアの輝度、時間が長いほ  
ど遅延した。これは Troxler  
効果（局所順応）が周辺では強い  
ことを示しているといえる。ここ  
でも検知時間は視野と独立ではな  
かった。

実験 XVIII — 既述の実験に用いた Fore period  
 (ランダムパルス) 用のランダムパルスの統計的解析  
 を行ったところ、その性質はほぼ  
 擬似ランダムであることが分った。

結局、全ての実験で、分析の観点を変えて  
 周辺視の明るさ受容機構を検討したところ、  
 視上刺激の惹起する明るさの変化の仕方、  
 周辺視野と中心視野では全く異なることが分  
 った。即ち、ベキ指数、閾値曲線、明るさ  
 の等感曲線、潜時の等値曲線、等輝度曲線等  
 は全て視野とは独立で分ったといえる。

## あ　と　が　き

本論の作製にあたり、参考文献をタイプしていただいた山本道子さん、清書の一部を手伝ってくれた妻満里子に感謝の意を表わします。

昭和五三年九月十七日

## REFERENCES

- Aguilar, M. & Stiles, W. S. 1954. Saturation of the rod mechanism of the retina at high levels of stimulation. Optica Acta, 1, 59 - 65.
- Aiba, T. S. & Stevens, S. S. 1964. Relation of brightness to duration and luminance under light- and dark-adaptation. Vision Research, 4, 391 - 401.
- Aikin, L. C. 1973. A Comparison of reaction time and magnitude estimation methods for brightness and loudness. Unpublished Doctoral Dissertation, Brown University, 1973. Dissertation Abstracts International, 1974, 34, 4683B (University Microfilms No. 74 - 2968, 107).
- Adnerson, N. H. 1974. Algebraic models in perception. In E. C. Carterette & M. P. Friedman (Eds.) Handbook of perception, 215 - 291. New York: Academic Press.
- Anglin, J. M. & Mansfield, R. J. W. 1968. On the brightness of short and long flashes. Perception & Psychophysics, 4, 161 - 162.
- Arend, L. E., Jr. 1973. Spatial factors in the Broca-Sulzer phenomenon. Journal of the Optical Society of America, 63, 879 - 883.
- Bahill, A. T., Adler, D. & Stark, L. 1975. Most naturally occurring human saccades have magnitudes of 15 degrees or less. Investigative Ophthalmology, 14, 468 - 469.
- Barlow, R. B. Jr., Snodderly, D. M. & Swadlow, H. A. 1978. Intensity coding in primate visual system. Experimental Brain Research, 31, 163 - 177.
- Bartlett, N. R., & Macleod, S. 1954. Effect of flash and field luminance upon human reaction time. Journal of the Optical Society of America, 44, 306 - 311.
- Baumgardt, E. 1963. La phénomène de Broca et Sulzer en vision périphérique. Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie, 157, 506 - 509.
- Baumgardt, E., & Hillmann, B. 1961. Duration and size as determinants of peripheral retinal response. Journal of the Optical Society of America, 51, 340 - 344.
- Bennett, A. G., & Francis, J. L. 1962. The eye as an optical system. In H. Davson (Ed.), The Eye (Vol. 4). New York: Academic Press, 101 - 131.
- Berlucchi, G., Heron, W., Hyman, R., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. 1971. Simple reaction times of ipsilateral and contralateral hand to lateralized visual stimuli. Brain, 94, 419 - 430.

- Blondel, A., & Rey, J. 1911. Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée. Journal de Physics, 1, 530 - 550.
- Borg, G., Diamant, H., Strom, L., & Zotterman, Y. 1968. Neural and psychophysical response to gustatory stimuli. In D. R. Kenshalo (Ed.), The Skin Senses, Illinois: Thomas Springfield.
- Boynton, R. M. 1961. Some temporal factors in vision. In W. A. Rosenblith (Ed.), Sensory communication. New York: MIT Press, 739 - 756.
- Breitmeyer, B. G., & Ganz, L. 1976. Implication of sustained and transient channels for theories of visual pattern masking, saccadic suppression, and information processing. Psychological Review, 83, 1 - 36.
- Broca, A., & Sulzer, D. 1902. La sensation lumineuse en fonction du temps. Comptes Rendus de Seances des l'Académie des Sciences, 134, 831 - 834.
- Brown, J. L. 1964. Time required for detection of acuity targets following exposure to short adapting flashes. Journal of Engineering Psychology, 3, 53 - 71.
- Brown, J. L. 1965. Flash blindness. American Journal of Ophthalmology, 60, 505 - 520.
- Brown, J. L. 1965. The structure of the visual system. In C. H. Graham (Ed.), Vision and Visual Perception. New York: Wiley, 39 - 59.
- Burgh, P. 1963. Peripheral viewing and simultaneous contrast. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 15, 257 - 263.
- Campbell, C. J., Koester, C. J., Rittler, M. C., & Tackaberry, R. B. 1974. Physiological Optics, New York: Harper & Row.
- Clarke, F. J. J. 1957. Rapid light adaptation on localized areas of the extra-foveal retina. Optica Acta, 4, 69 - 73.
- Clarke, F. J. J. 1960. A study of Troxler's effect. Optica Acta, 7, 219 - 236.
- Clarke, F. J. J. 1961. Visual recovery following local adaptation of the peripheral retina. Optica Acta, 8, 121 - 135.
- Clemmesen, V. 1944. Central and indirect vision. Acta Physiol. Scand., 9, Suppl. 27.
- Collier, R. M. 1931. An experimental study of form perception in indirect vision. Journal of Comparative Psychology, 11, 281 - 290.



- Corwin, T. R., & Giambalvo, V. 1974. Effects of simultaneous contrast on temporal brightness enhancement. American Journal of Optometry and Physiological Optics, 51, 175 - 180.
- Delgado, J. M. R. 1945. Über extramakulares Sehen der Form. Ophthalmologica, 10, 170 - 190.
- Dixon, W. J., & Massey, F. J., Jr. 1957. Introduction to statistical analysis. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Donchin, E. and Lindsley, D. B. 1966. Average evoked potentials and reaction times to visual stimuli. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 20, 217 - 223.
- Drum, B. 1975. Apparent brightness and contrast threshold: Fundamental differences as functions of retinal eccentricity. Arvo Annual Meeting, Sarasota, Florida.
- Drum, B. 1976. a. Rod and cone brightness: Dependence on retinal position and threshold. Proceedings of the Arvo Annual meeting, Sarasota, Florida.
- Drum, B. 1976. b. The relation of apparent brightness to contrast threshold on a photopic background: Dependence on retinal position and target size. Vision Research, 16, 1401 - 1406.
- Drum, B. 1977. Private Communication, June 1977.
- Duke-Elder, S., Ed. 1970. System of Ophthalmology: Vol.5 Ophthalmic Optics and Refraction. London: Kimpton.
- Dustman, R. E. & Beck, E. C. 1965. Phase of alpha brain waves, reaction time, and visual evoked potentials. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 18, 433 - 440.
- Dwyer, W. O., & White, C. S. 1974. Peripheral area-intensity interaction in simple visual reaction time. Vision Research, 14, 971 - 974.
- Eason, R. G., Oden, D. and White, C. T. 1967. Visually evoked cortical potentials and reaction time in relation to site of retinal stimulation. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 22, 313 - 324.
- Eason, R. G. and Dudley, L. M. 1971. Effect of stimulus size and retinal locus of stimulation on visually evoked cortical responses and reaction time in man. Psychonomic Science, 23, 345 - 347.
- Ekman, G. 1958. Two generalized ratio scaling methods. Journal of Psychology, 45, 287 - 295.

- Ekman, G. 1961. A simple method for fitting psychophysical powerfunctions. Journal of Psychology, 51, 343 - 350.
- Ekman, G. 1966. Temporal integration of brightness. Vision Research, 6, 683 - 688.
- Ekman, G. & Gustafsson, U. 1968. Threshold values and the psychophysical function in brightness vision. Vision Research, 8, 747 - 758.
- Enroth-Cugell, C., & Robson, J. G. 1966. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. Journal of Physiology, 187, 517 - 552.
- Ferree, C. E., Rand, G., & Hardy, C. 1931. Refraction for the peripheral field of vision. Archive of Ophthalmology, 5, 717 - 731.
- Ferree, C. E., & Rand, G. 1933. Interpretation of refractive conditions in the peripheral field of vision. Archive of Ophthalmology, 9, 925 - 938.
- Frumkes, T. E., Sekuler, M. D., Barris, M. C., Reiss, E. H., & Chalupa, L. M. 1973. Rod-cone interaction in human scotopic vision: I. Temporal analysis, Vision Research, 13, 1269 - 1282.
- Galifret, Y., & Piéron, H. 1948. La transmission intrarétinienne de l'excitation lumineuse. L'année Psychologique, 49, 1 - 19.
- Gazzaniga, M. S. 1970. The Bisected Brain. Appleton-Century-Crofts, New York.
- Geissler, L. R. 1926. Form perception in indirect vision. Psychological Bulletin, 135 - 136.
- Geldard, F. A. 1928. The measurement of retinal fatigue to achromatic stimulation. II. Journal of general Psychology, 1, 578 - 590.
- Graefe, O. 1957. Analyses des inneren Aufbaus einer im Peripheren Gesichtsfeld wahrgenommenen Figure. Zeitschrift für experimentelle und angewandte psychologie, 4, 104 - 138.
- Graham, C. H. 1965. Some fundamental data. In C. H. Graham (Ed.) Vision and Visual Perception, 68 - 80, New York: Wiley.
- Graham, C. H., & Bartlett, N. R. 1939. The relation of size of stimulus and intensity in the human eye: II. Intensity thresholds for red and violet light. Journal of Experimental Psychology, 24, 574 - 587.

- Graham, C. H., Brown, R. H., & Mote, F. A. 1939. The relation of size of stimulus and intensity in the human eye. I. Intensity thresholds for white light. Journal of Experimental Psychology, 24, 555 - 573.
- Graham, C. H., & Margaria, R. 1935. Area and the intensity-time in the peripheral retina. American Journal of Physiology, 113, 299 - 305.
- Graham, C. H. & Ratoosh, P. 1961. Notes on some interrelations of sensory psychology, perception and behavior. In S. Koch (Ed.), Psychology: A study of a science, Vol.4. New York: McGraw Hill.
- Hall, G. S., & von Kries, J. 1879. Über die Abhängigkeit der Reaktionszeiten vom Ort des Reizes. Archive für Anatomie und Physiologie, Abteilung, Supplement, 1 - 10.
- Hallett, P. E. 1963. Spatial summation. Vision Research, 3, 9 - 24.
- Helmholtz, H. von 1924. Treatise on physiological optics. Vol.II, Trans. from 3rd German Ed. Edited by J. P. C. Southall, Optical Society of America.
- Hufford, L. E. 1964. Reaction time and the retinal area-stimulus intensity relationship. Journal of the Optical Society of America, 54, 1368 - 1373.
- Higgins, K. E., & Rinalducci, E. J. 1975, a. Suprathreshold intensity-area relationships: A spatial Broca-Sulzer effect. Vision Research, 15, 129 - 143.
- Higgins, K. E., & Rinalducci, E. J. 1975, b. The spatial Broca-Sulzer and sensitization effects for foveal viewing. Vision Research, 15, 423 - 425.
- Hurvich, L. M., & Jameson, D. 1966. The perception of brightness and darkness. Boston: Allyn & Bacon.
- Ikeda, H., & Wright, M. J. 1972, a. Differential effects of refractive errors and receptive field organization of central and peripheral ganglion cells. Vision Research, 12, 1465 - 1476.
- Ikeda, H., & Wright, M. J. 1972, b. Receptive field organization of "sustained" and "transient" retinal ganglion cells which subserve different functional roles. Journal of Physiology, 227, 769 - 800.
- Ikeda, H., & Wright, M. J. 1975. Retinotopic distribution, visual latency and orientation tuning of "sustained" and "transient" cortical neurones in area 17 of the cat. Experimental Brain Research, 22, 385 - 398.

- Ivanoff, A. 1956. About the spherical aberration of the eye. Journal of the Optical Society of America, 46, 901 - 903.
- Jameson, D. 1965. Threshold and supra-threshold relations in vision. Proceedings of the International Colour Meeting: Lucerne. 1, 128 - 136. Musterschmidt-Verlag, Göttingen.
- Jameson, D., & Hurvich, L. M. 1961. Complexities of perceived brightness. Science, 133, 174 - 179.
- Jeeves, M. A. 1969. A comparison of interhemispheric transmission times in acallosal and normals. Psychonomic Science, 16, 245 - 246.
- Jeeves, M. A. and Dixon, N. F. 1970 Hemisphere differences in response rates to visual stimuli. Psychonomic Science, 20, 249 - 251.
- Jeeves, M. A. 1972. Hemisphere differences in response rates to visual stimuli in children. Psychonomic Science, 27, 201 - 203.
- Jones, F. N., & Marcus, M. J. 1961. The subject effect in judgements of subjective magnitude. Journal of Experimental Psychology, 61, 40 - 44.
- Jung, R. 1973. Visual perception and neurophysiology. In R. Jung (Ed.), Handbook of sensory physiology. Vol. VII/3. Central processing of visual information. Berlin: Springer-Verlag.
- Karlin, L., Martz, M. J., Brauth, S. E. and Mordkoff, A. M. Auditory evoked potentials, motor potentials and reaction time. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 31, 129 - 136.
- Kats, M. S. 1964. Brief flash brightness. Vision Research, 4, 361 - 373.
- Kietzman, M. L., & Sutton, S. 1968. The interpretation of two-pulse measures of temporal resolution in vision. Vision Research, 8, 287 - 302.
- Kinsbourne, M. and Fisher, M. 1971. Latency of uncrossed and crossed reaction in callosal agenesis. Neuropsychologia, 9, 471 - 473.
- Kirschmann, A. L. O. 1908. Über die Erkennbarkeit geometrischer Figuren und Schriftzeichen im indirekten Sehens. Arch. ges. psychol., 13, 352 - 388.
- Kleitman, N., & Blier, Z. A. 1928. Color and form discrimination in the periphery of the retina. American Journal of Physiology, 85, 178 - 190.

- Korte, N. 1923. Über die Gestaltauffassung im indirekten Sehens. Zeitschrift für Psychologie, 93, 17 - 82.
- Krantz, D. H. 1972. A theory of magnitude estimation and crossmodality matching. Journal of Mathematical Psychology, 9, 168 - 199.
- Kries, J. von. 1929. Zur Theorie des Tages- und Dämmerungssehens. In A. Bethe, G. V. Bergmann, G. Emden, & A. Ellinger (Eds.), Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. Berlin: Springer.
- Le Grand, Y. 1967. Form and Space Vision (trans. by M. Millodot & G. G. Heath). Bloomington: Indiana University Press.
- Le Grand, Y. 1968. Light, colour and vision. 2nd Ed. London: Chapman & Hall.
- Leibowitz, H. W., Johnson, C. A., & Isabelle, E. 1972. Peripheral motion detection and refractive error. Science, 177, 1207 - 1208.
- Lemmon, V. W., & Geisinger, S. W. 1936. Reaction-time to retinal stimulation under light and dark adaptation. American Journal of Psychology, 48, 140 - 142.
- Levy-Schoen, A. 1976. Exploration et connaissance de l'espace visuel sans vision périphérique. Le Travail Humain, 39, 63 - 72.
- Lichtenstein, M., & White, C. T. 1961. Relative visual latency as a function of retinal locus. Journal of the Optical Society of America, 51, 1033 - 1034.
- Low, F. N. 1943. The peripheral visual acuity of 100 subjects. American Journal of Physiology, 140, 83 - 88.
- Low, F. N. 1951. Peripheral visual acuity. Archive of Ophthalmology, 45, 80 - 99.
- Luce, R. D., & Green, D. M. 1972. A neural timing theory for response times and the psychophysics of intensity. Psychological Review, 79, 14 - 57.
- Luckiesh, M., & Guth, S. K. 1949. Brightness in visual field at borderline between comfort and discomfort. Illuminating Engineering, 44, 650 - 670.
- Luckiesh, M., & Moss, F. K. 1937. The science of seeing. Princeton: Van Nostrand.
- Maddess, R. J. 1975. Reaction time to hemiretinal stimulation. Neuropsychologia, 13, 213 - 218.

- Mansfield, R. J. W. 1973, a. Brightness function: Effect of area and duration. Journal of the Optical Society of America, 63, 913 - 920.
- Mansfield, R. J. W. 1973, b. Latency functions in human vision. Vision Research, 13, 2219 - 2234.
- Mansfield, R. J. W. 1974. Measurement, invariance, and psychophysics. In H. R. Moskowitz, B. Scharf, & J. C. Stevens (Eds.) Sensation and Measurement - papers in honor of S. S. Stevens. 111 - 126. Reidel, Dordrecht, The Netherland.
- Mansfield, R. J. W. 1976. Visual adaptation: Retinal transduction, brightness and sensitivity. Vision Research, 16, 679 - 690.
- Marks, L. E. 1966. Brightness as a function of retinal locus. Perception & Psychophysics, 1, 335 - 341.
- Marks, L. E. 1968. Brightness as a function of retinal locus in the light-adapted eye. Vision Research, 8, 525 - 535.
- Marks, L. E. 1971. Brightness and retinal locus: Effects of target size and spectral composition. Perception & Psychophysics, 9, 26 - 30.
- Marks, L. E. 1974, a. Sensory processes: The new psychophysics. New York: Academic Press.
- Marks, L. E. 1974, b. On scales of sensation: Ploregomena to any future psychophysics that will be able to come forth as science. Perception & Psychophysics, 16, 358 - 376.
- Marks, L. E. 1976. Relative sensitivity and possible psychophysical functions. Sensory Processes, 1, 301 - 315.
- Marks, L. E. 1977. Private Communication, June 1977.
- Marks, L. E., & Stevens, J. C. 1966. Individual brightness functions. Perception & Psychophysics, 1, 17 - 24.
- Marks, L. E., & Stevens, J. C. 1968. The form of the psychophysical function near threshold. Perception & Psychophysics, 4, 315 - 318.
- Marrocco, R. T. 1975. Possible neural basis of brightness magnitude estimations. Brain Research, 86, 128 - 133.
- McGill, W. 1960. The slope of the loudness function: A puzzle. In H. Gulliksen & S. Messik (Eds.) Psychological scaling, 67 - 81. New York: Wiley.
- Millodot, M., & Lamont, A. 1974. Refraction of the periphery of the eye. Journal of the Optical Society of America, 64, 110 - 111.

- Moody, D. B. 1970. Reaction time as an index of sensory function. In W. C. Stebbins (Ed.), Animal Psychophysics, 277 - 302, New York: Appleton.
- Munn, N. L., & Geil, G. A. 1931. A note on peripheral form discrimination. Journal of general psychology, 5, 78 - 88.
- Nissens, M. J. 1977. Stimulus intensity and information processing. Perception & Psychophysics, 22, 338 - 352.
- Onley, J. W. 1961. Light adaptation and the brightness of brief foveal stimuli. Journal of the Optical Society of America, 51, 667 - 673.
- Osaka, N. 1975. Target size and luminance in apparent brightness of the peripheral visual field. Perceptual and Motor Skills, 41, 49 - 50.
- Osaka, N. 1976, a. Reaction time as a function of peripheral retinal locus around fovea: Effect of stimulus size. Perceptual and Motor Skills, 43, 603 - 606.
- Osaka, N. 1976, b. Visual reaction time as a function of target size and retinal eccentricity in the peripheral visual field. Japanese Psychological Research, 18, 183 - 190.
- Osaka, N. 1977, a. Effect of refraction on perceived locus of a target in the peripheral visual field. The Journal of Psychology, 95, 59 - 62.
- Osaka, N. 1977, b. Two pulse temporal resolution threshold in the peripheral visual field. Perceptual and Motor Skills, 44, 837 - 838.
- Osaka, N. 1977, c. Perceived brightness as a function of flash duration in the peripheral visual field. Perception & Psychophysics, 22, 63 - 69.
- Osaka, N. 1977, e. Estimated exponent of the brightness powerfunction under steady- and transient-state flash duration in peripheral vision. Brief Report from the Laboratory of Psychology, Kyoto University, No.2, 22.
- Osaka, N. 1978, b. An inexpensive quasirandom interpulse interval generator. Behavior Research Methods & Instrumentation, 10, 18 - 20.
- Osaka, N. 1978, c. Brightness exponent for the periphery in the Bloch region. Journal of the Optical Society of America, 68, 140 - 142.
- Osaka, N. 1978, e. Naso-temporal difference in human reaction time in the peripheral visual field. Neuropsychologia, 16, 299 - 303.

- Osaka, N., & Yamamoto, M. 1978. VEP latency and RT as power functions of luminance in the peripheral visual field. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 44, 785 - 788.
- Osaka, R. 1978. Stability of visual space. Psychologia, 11, 55 - 61.
- Østerberg, G. 1935. Topography of the layer of rods and cones in the human retina. Acta Ophthalmologica (Kbh.) Supplement, 6, 1 - 102.
- Oyama, T. 1968. A behavioristic analysis of Stevens' magnitude estimation methods. Perception & Psychophysics, 3, 317 - 320.
- Payne, W. H. 1966. Reaction time as a function of retinal location. Vision Research, 6, 729 - 732.
- Payne, W. H. 1967. Visual reaction times on a circle about the fovea. Science, 155, 481 - 482.
- Piéron, H. 1952. The sensations. New Haven: Yale University Press.
- Piéron, H. 1969. La psychophysique. P. Fransse et J. Piaget (Eds.) Traité de psychologie expérimentale, Tome II, Sensation et motoricité, 1 - 62. Paris: Presses Universitaires de France.
- Pirenne, M. H. 1970. Optics, Painting & Photography. London: Cambridge University Press.
- Pöppel, E. 1973. Apparent brightness in the peripheral visual field. Naturwissenschaften, 60, 110.
- Pöppel, E., & Harvey, L. O., Jr. 1973. Light-difference threshold and subjective brightness in the periphery of the visual field. Psychologische Forschung, 36, 145 - 161.
- Poffenberger, A. T. 1912. Reaction time to retinal stimulation with special reference to the time lost in conduction through nerve centers. Archives of Psychology, No.23, 1 - 73.
- Polyak, S. L. 1941. The retina. Chicago: Chicago University Press.
- Poulton, E. C. 1968. The New Psychophysics: Six models for magnitude estimation. Psychological Bulletin, 69, 1 - 19.
- Pradhan, P. L., & Hoffman, P. J. 1963. Effect of spacing and range of stimuli on magnitude estimation judgements. Journal of Experimental Psychology, 66, 533 - 541.



- Raab, D. 1962. Magnitude estimation of brightness of brief foveal stimuli. Science, 135, 42 - 43.
- Rains, J. D. 1963. Signal luminance and position effects in human reaction time. Vision Research, 3, 239 - 251.
- Randall, H. G., Brown, D. J., & Sloan, L. L. 1966. Peripheral visual acuity. Archive of Ophthalmology, 75, 500 - 504.
- Reynolds, D. M., & Jeeves, M. A. 1974. Further studies of crossed and uncrossed pathway responding in callosal agensis - reply to Kinsbourne and Fisher. Neuropsychologia, 12, 287 - 290.
- Riggs, L. A., Armington, J. C., & Ratliff, F. 1954. Motions of the retinal image during fixation. Journal of the Optical Society of America, 44, 315 - 321.
- Riopelle, A. J., & Chow, A. K. L. 1953. Scotopic area-intensity relations at various retinal locations. Journal of Experimental Psychology, 46, 314 - 318.
- Robson, J. G. 1975. Receptive field: Neural representation of the spatial and intensive attributes of the visual image. In E. C. Carterette & M. P. Friedman (Eds.), Handbook of perception, Vol.5. New York: Academic Press. 81 - 116.
- Savage, C. W. 1970. The measurement of sensation. Berkeley: University California Press.
- Sekuler, R. 1975. Visual motion perception. In E. C. Carterette & M. P. Friedman (Eds.), Handbook of perception. Vol.5. New York: Academic Press, 387 - 430.
- Schneider, G. E. 1969. The two visual systems. Science, 163, 895 - 902.
- Schultze, M. 1886. Zur Anatomie und Physiologie der Retina. Archives of Mikroskopic Anatomy, 2, 175 - 286.
- Sloan, L. L. 1950. The threshold gradients of the rods and the cones: in the dark-adapted and in the partially light-adapted eye. American Journal of Ophthalmology, 33, 1077 - 1089.
- Spring, K. H., & Stiles, W. S. 1948. Apparent shape and size of the pupil viewed obliquely. British Journal of Ophthalmology, 32, 347 - 354.
- Stevens, J. C., & Stevens, S. S. 1963. Brightness function: Effects of adaptation. Journal of Optical Society of America, 53, 375 - 385.
- Stevens, J. C., & Hall, J. W. 1966. Brightness and loudness as functions of stimulus duration. Perception & Psychophysics, 1, 319 - 327.

- Stevens, J. C., & Savin, H. B. 1962. On the form of learning curves. Journal of the Experimental Analysis of behavior, 5, 15 - 18.
- Stevens, S. S. 1966. Duration, luminance, and the brightness exponent. Perception & Psychophysics, 1, 96 - 100.
- Stevens, S. S. 1960. The psychophysics of sensory function. American Scientist, 48, 226 - 253.
- Stevens, S. S. 1960. Ratio scales, partition scales and confusion scales. In H. Gulliksen & S. Messik (Eds.) Psychological Scaling. 49 - 60. New York: Wiley.
- Stevens, S. S. 1961. To honor Fechner and repeal his law. Science, 133, 80 - 86.
- Stevens, S. S., & Stevens, J. C. 1960. The dynamics of visual brightness. Psychophysical project, Harvard University.
- Stevens, S. S. 1975. Psychophysics: Introduction to its perceptual, neural, and social prospects. New York: Wiley.
- Stone, J., & Fukuda, Y. 1974. Properties of cat retinal ganglion cells: A comparison of W-cells with X- and Y-cells. Journal of Neurophysiology, 37, 722 - 748.
- Teichner, W. H., & Krebs, M. 1972. Laws of the simple reaction time. Psychological Review, 79, 344 - 358.
- Thompson, J., & Schiffman, H. R. 1974. The effect on the magnitude of the horizontal-vertical illusion of horizontal retinal eccentricity. Vision Research, 14, 1463 - 1465.
- Treisman, M. 1964. Sensory scaling and the psychophysical law. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 16, 11 - 22.
- Trevarthen, C. B. 1968. Two mechanisms of vision in primates. Psychologische Forschung, 31, 299 - 337.
- Ueno, T. 1976. Luminance-duration relation in reaction time to spectral stimuli. Vision Research, 16, 721 - 725.
- Vaughan, Jr., H. G., Costa, L. D. and Gilden, L. 1966. The functional relation of visual evoked response and reaction time to stimulus intensity. Vision Research, 6, 645 - 656.
- Wallace, S. R., Jr. 1937. Studies in binocular interdependence: I. Binocular relations in macular adaptation. Journal of General Psychology, 17, 307 - 322.

- Warren, R. M. 1958. A basis for judgements of sensory intensity. American Journal of Psychology, 71, 675 - 687.
- Watson, C. S. 1973. Psychophysics. In B. B. Wolman (Ed.), Handbook of general psychology, New Jersey: Prentice-Hall.
- Watson, E. J. 1962. Primitive Polynomials (Mod-2). Mathematical Computation, 16, 368 - 369.
- Weale, R. A. 1956. Problems of peripheral vision. British Journal of Ophthalmology, 40, 392 - 415.
- Wertheim, T. 1894. Über die indirekte Sehschärfe. Zeitschrift für Psychologie, 7, 174 - 187.
- White, T. W., Collins, S. B., & Rinalducci, E. J. 1976. The Broca-Sulzer effect under scotopic viewing conditions. Vision Research, 16, 1439 - 1443.
- Whitmer, C. A. 1933. Peripheral form discrimination under dark-adaptation. Journal of general Psychology, 9, 405 - 419.
- Wicke, J. D., Donchin, E. and Lindsley, D. B. 1964. Visual evoked potentials as a function of flash luminance and duration. Science, 146, 83 - 85.
- Wilkinson, R. T. and Morlock, H. C. 1967. Auditory evoked response and reaction time. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 23, 50 - 56.
- Zigler, M. J., Cook, B., Miller, D., & Wemple, L. 1930. The perception of form in peripheral vision. American Journal of Psychology, 42, 246 - 259.

相場 寛 1967. 周辺視に於ける明るさの  
感覚を司るメカニズム. 日本心理学会  
第31回大会発表論文集. 406

池田光男 1975. 視覚の心理物理学. 東京.  
森北出版.

印東 太郎 1977. 識別・比較・選択.  
印東太郎編. 心理測定・学習理論 199-  
282. 東京. 森北出版.

柿崎 祐一 1958. フェヒネル的法則につい  
て. 哲学研究. 40. 180-203.

柿崎 祐一 1959. 感覚の大きさの直接評価  
—— 明るさの場合 ——. 日本心理学会  
第23回大会発表論文集抄録集. II-48

柿崎 祐一 1968. 最近知覚心理学の一回  
題 —— 知覚と反応(2) —— 心理学評  
論. 11. 251-271.

柿崎 祐一 1974. 知覚判断. 東京. 培風  
館. 73-100.

真辺春蔵 1964. まぶしさの心理学.  
照明学会誌. 48. 510-513.

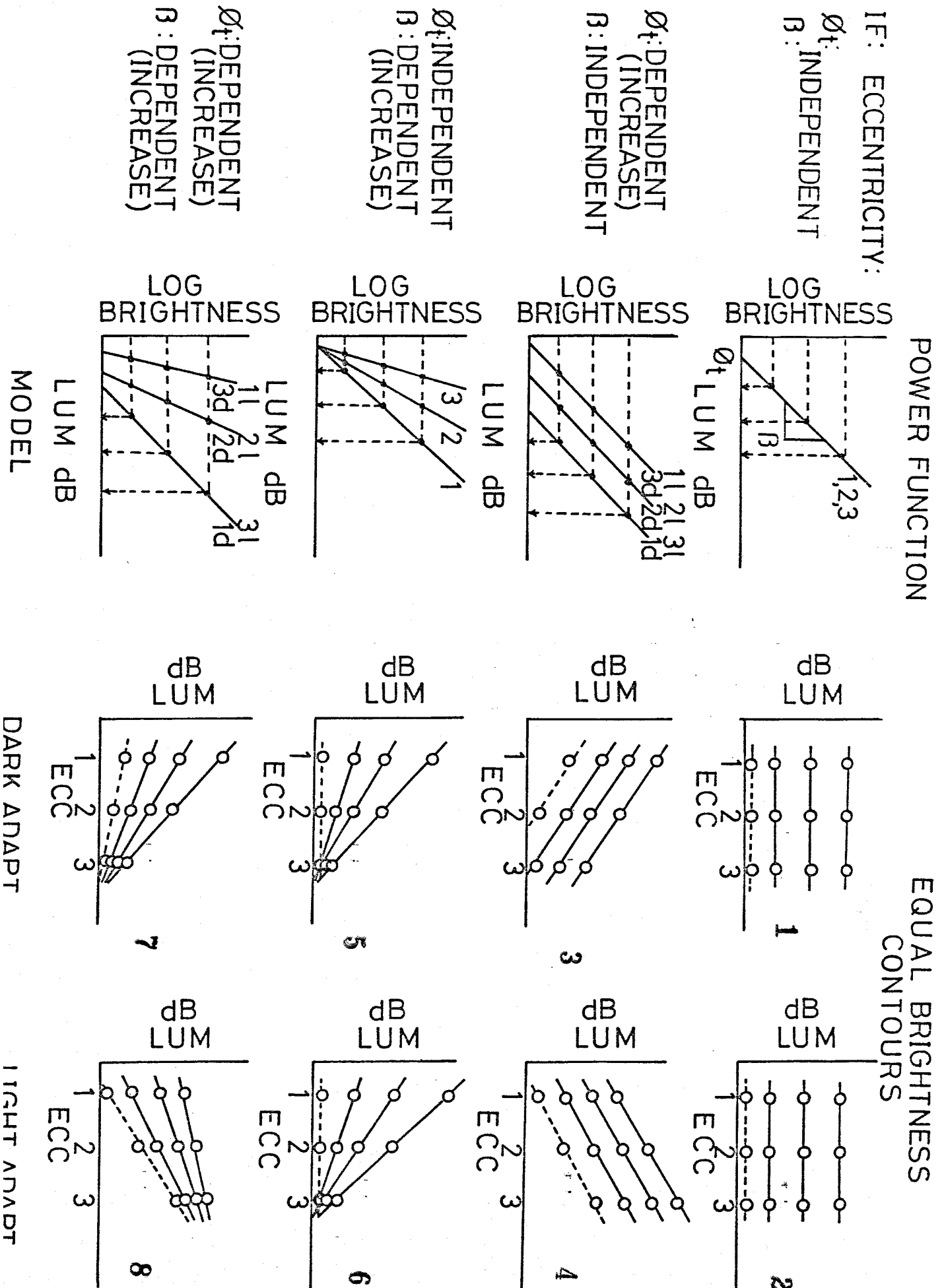
苧阪 直行 1973. 周辺視知覚の研究. 京都  
大学修士論文(未刊)

苧阪 直行 1977b. 周辺視における潜時  
ベキ関数 — 呈示視野がベキ関数パラメタ  
に及ぼす効果 — 心理学研究. 48. 296  
— 302.

苧阪 直行 1978a. 周辺視に於ける local  
adaptation からの可視度の回復過程.  
人間工学. 14. 33—38.

苧阪 直行 1978d. シフトレジスタ系列による  
MOD-2 疑似ランダムパルスの発生.  
心理学研究. 49. 99—102.

苧阪 直行 1978f. 周辺視の発達過程(I)  
日本教育心理学会第20回大会発表論文  
集. 264.



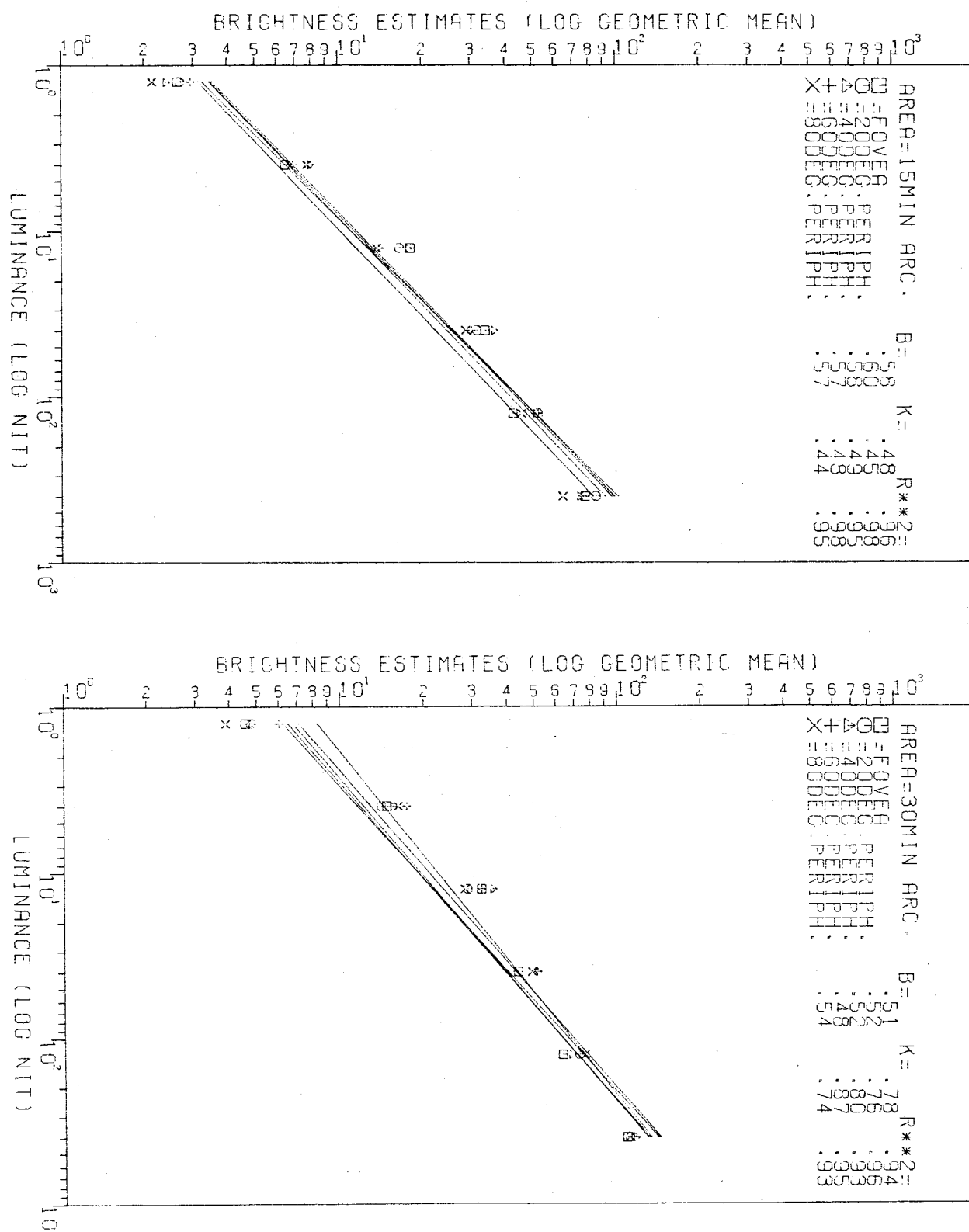


Fig.2A Brightness power functions for target size of 15' and 30' for different retinal loci.

\* On file in Document NAPS-02600  
Microfiche Publications  
New York

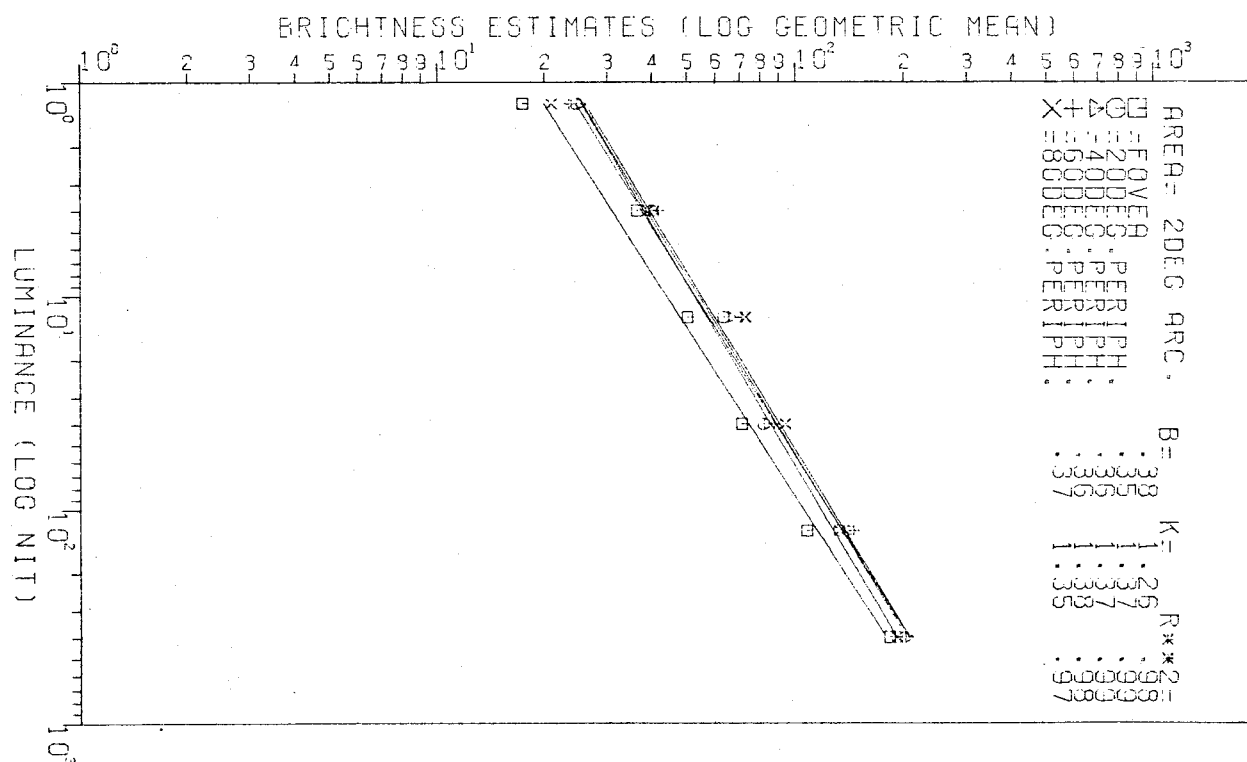
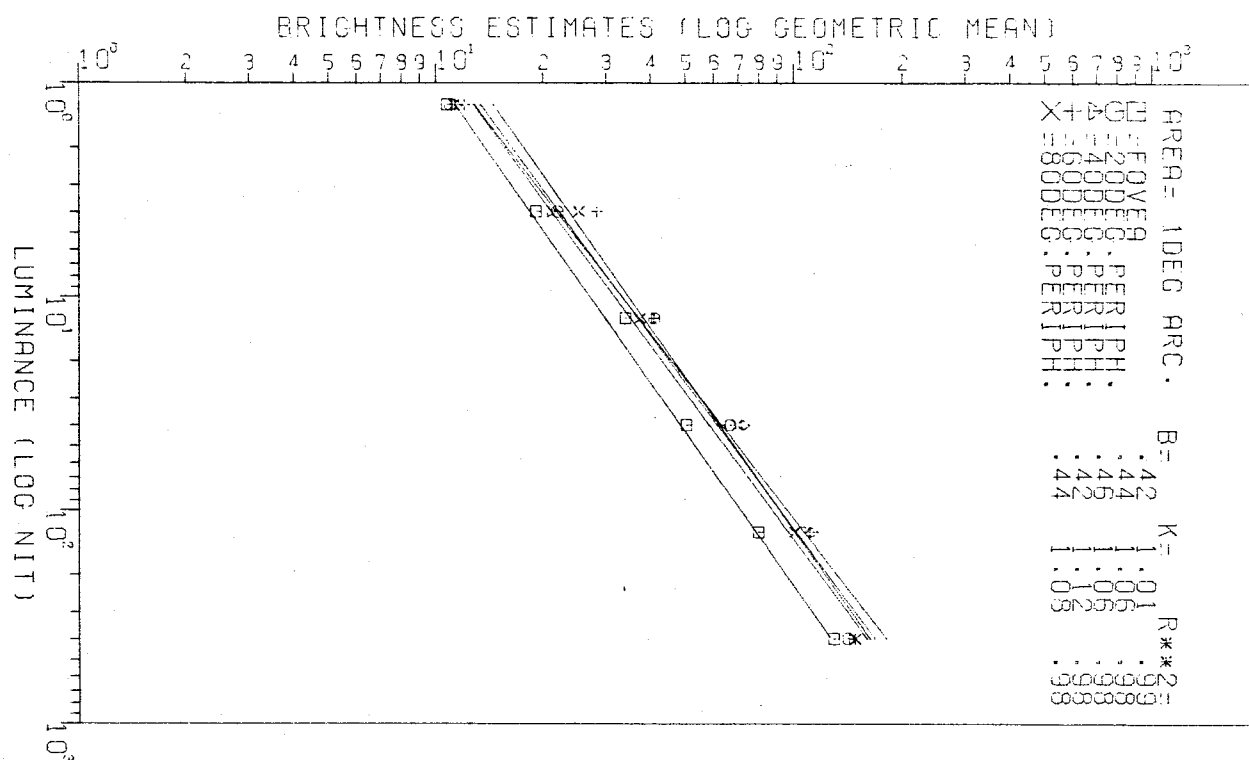


Fig.2B Brightness power functions for target size of  $1^\circ$  and  $2^\circ$  for different retinal loci.

\* On file in Document NAPS-02600  
Microfiche Publications  
New York



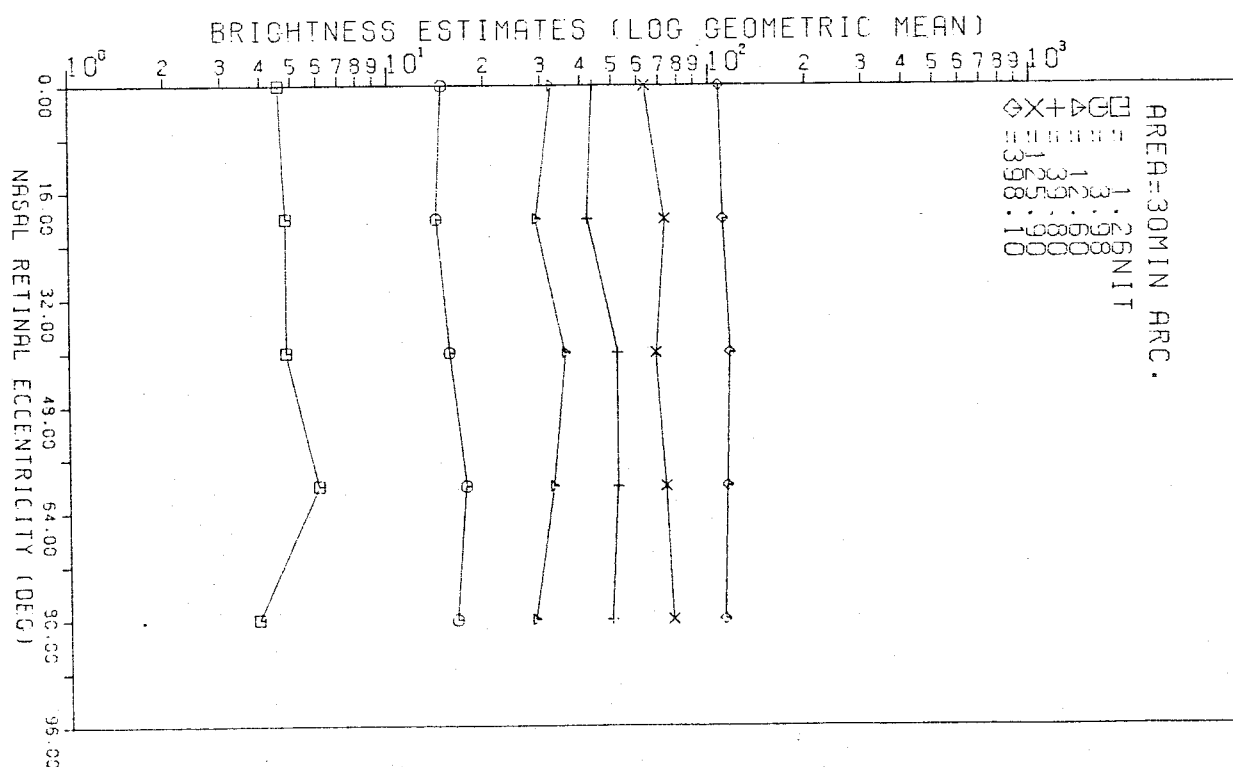
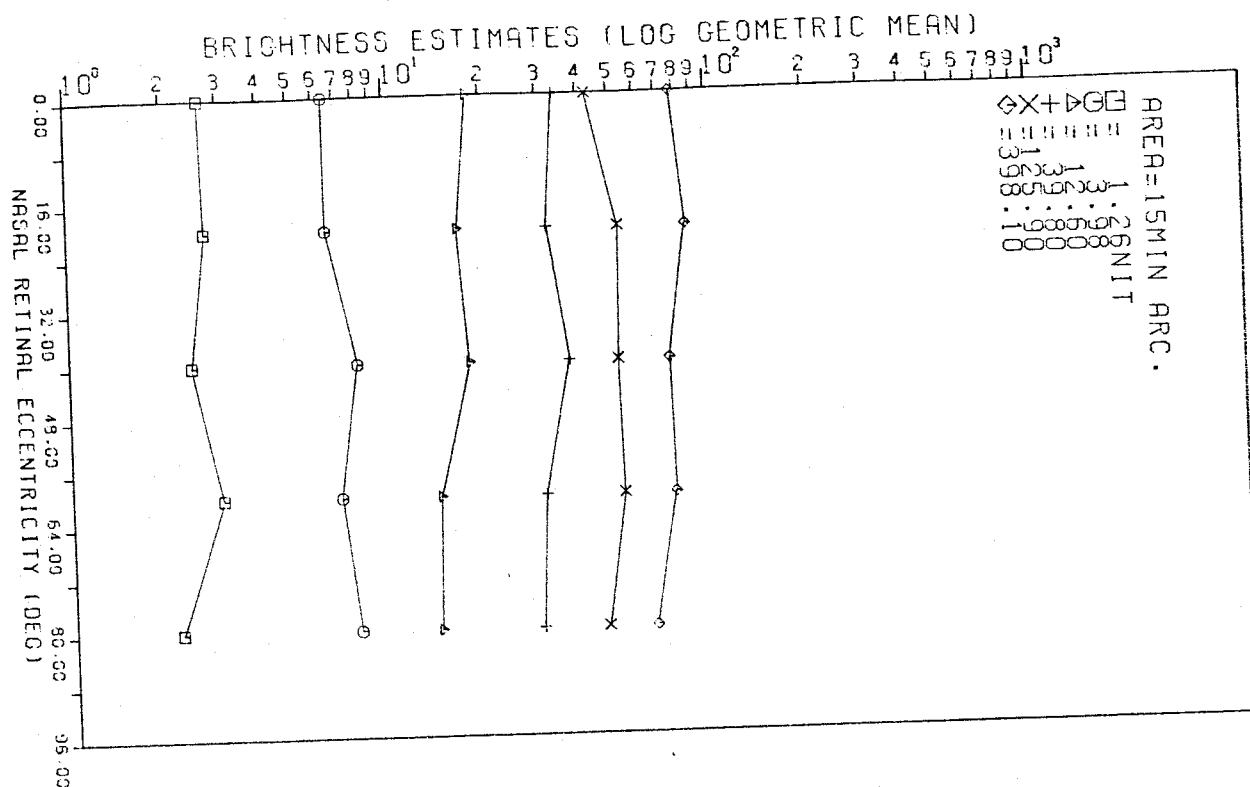


Fig.3A Brightness estimate as a function of retinal eccentricity. Parameter is luminance.

\* On file in Document NAPS-02600  
Microfiche Publications  
New York

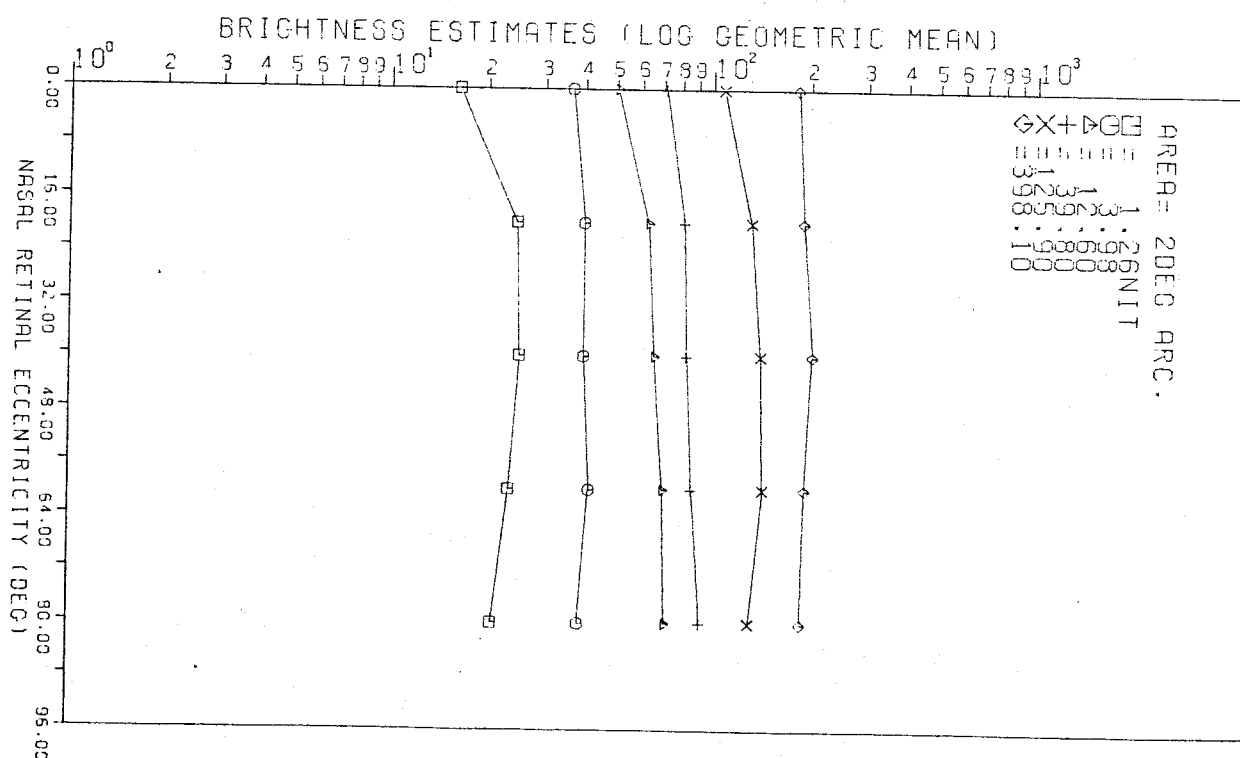
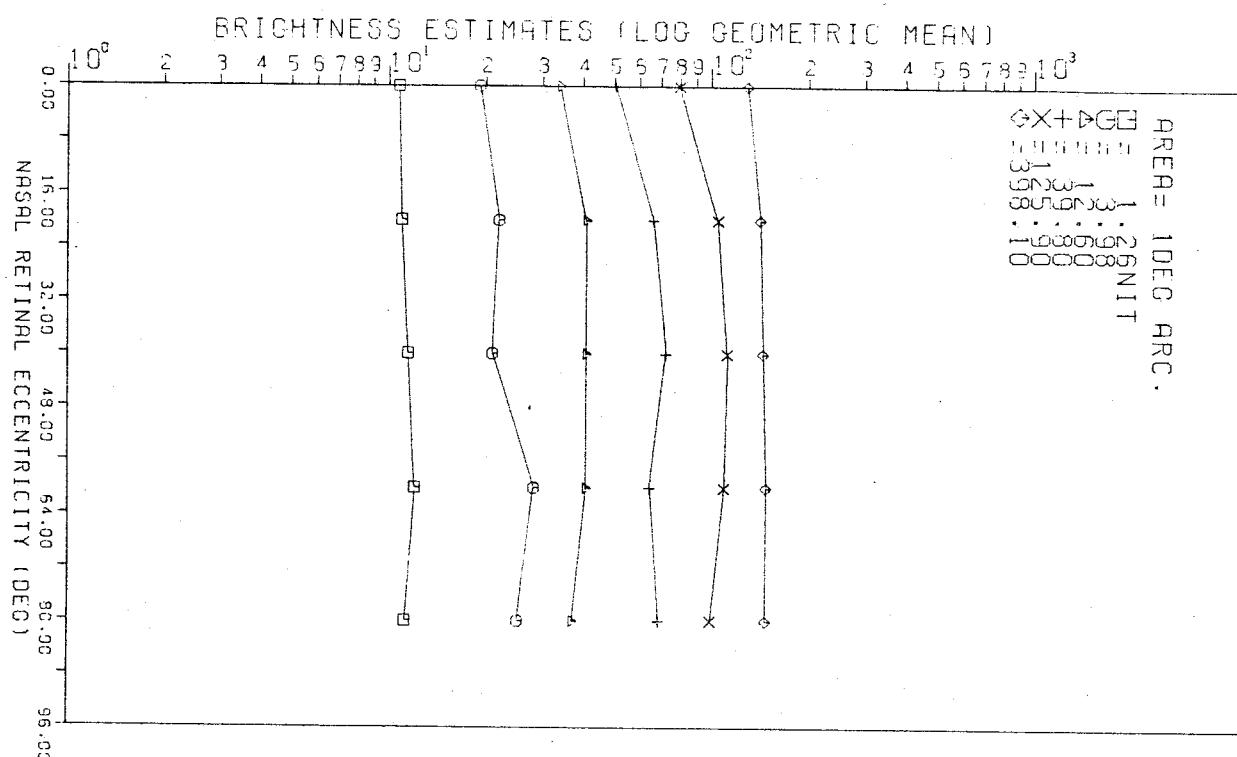


Fig.3B Brightness estimate as a function of retinal eccentricity. Parameter is luminance.

\* On file in Document NAPS-02600  
Microfiche Publications  
New York

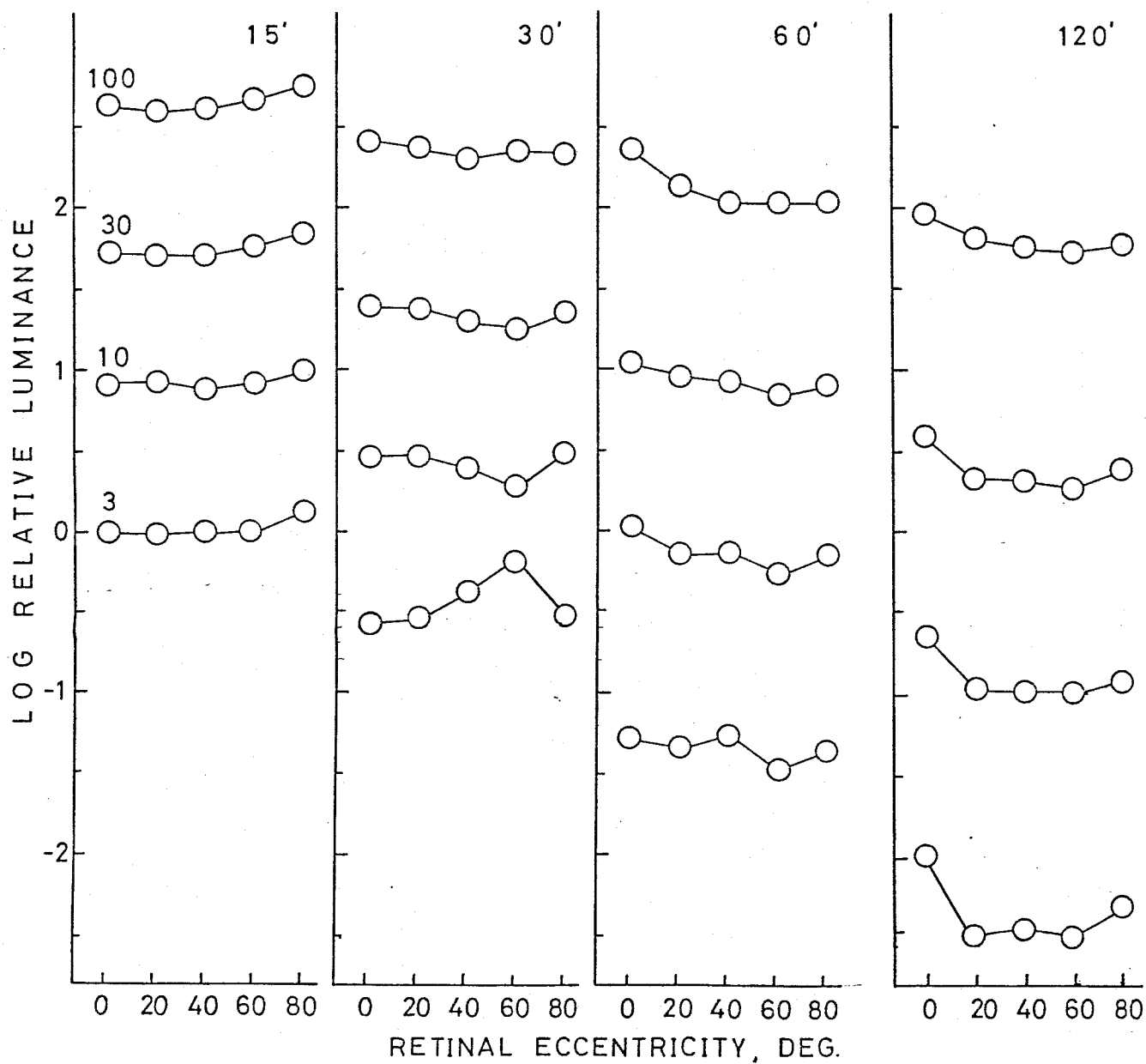


Fig.4 Equal brightness contours for the different target size in the peripheral visual field.

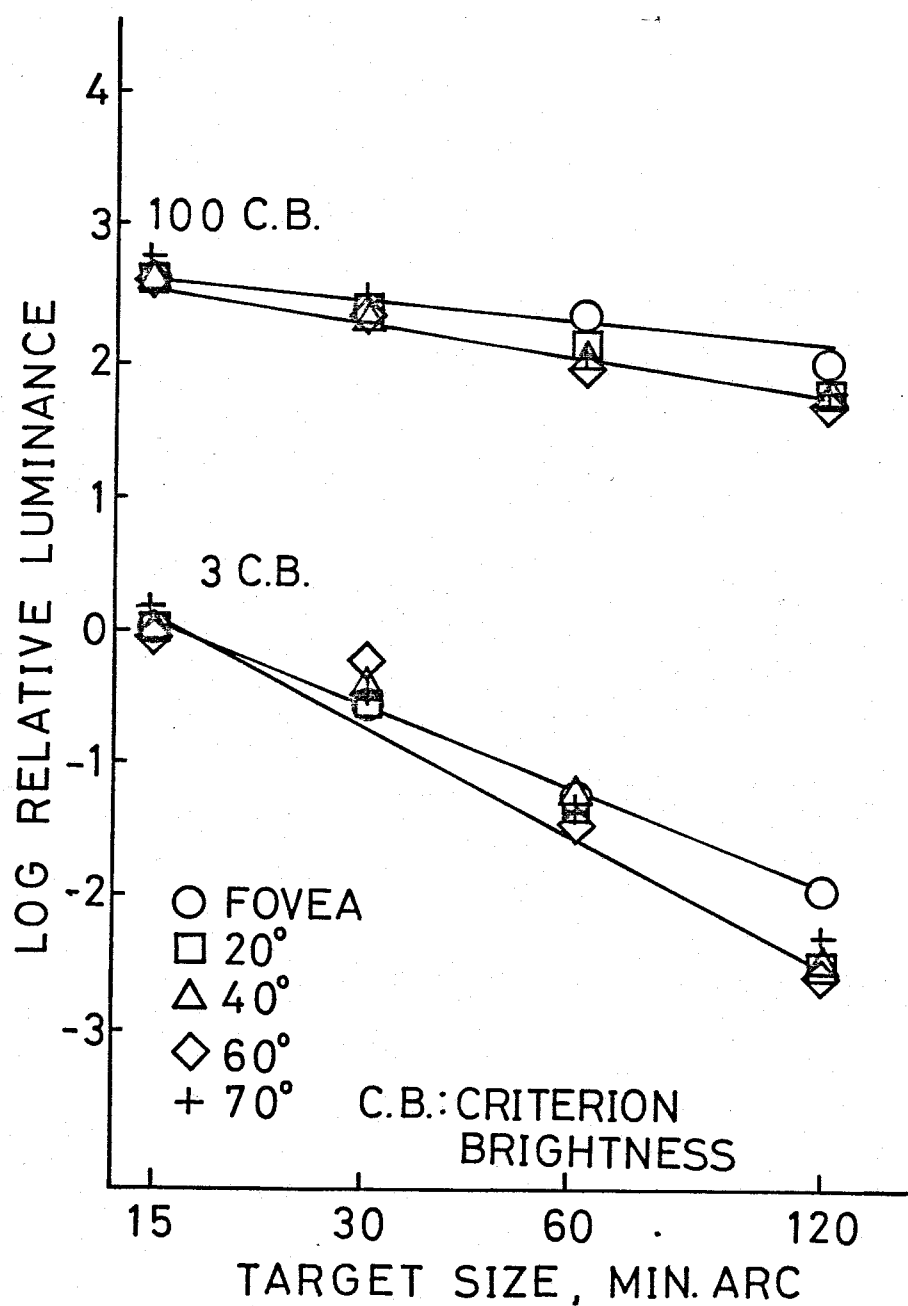
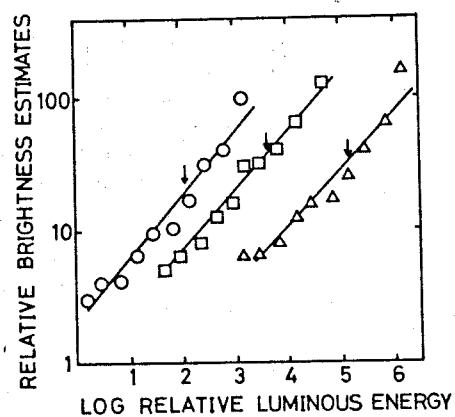


Fig.5 Equal brightness contour as a function of target size for the different retinal loci.



6  
 FIG. 4. Perceived brightness as a function of flash luminous energy for three retinal loci: Fovea (O), 20° nasal (□), and 40° nasal (Δ). Each point is the geometrical mean of brightness estimates for brief flashes of equal energy in the Bloch region from 14 observers at each stimulus condition. Each arrow shows an energy equivalent to that of a 10 ms square pulse at

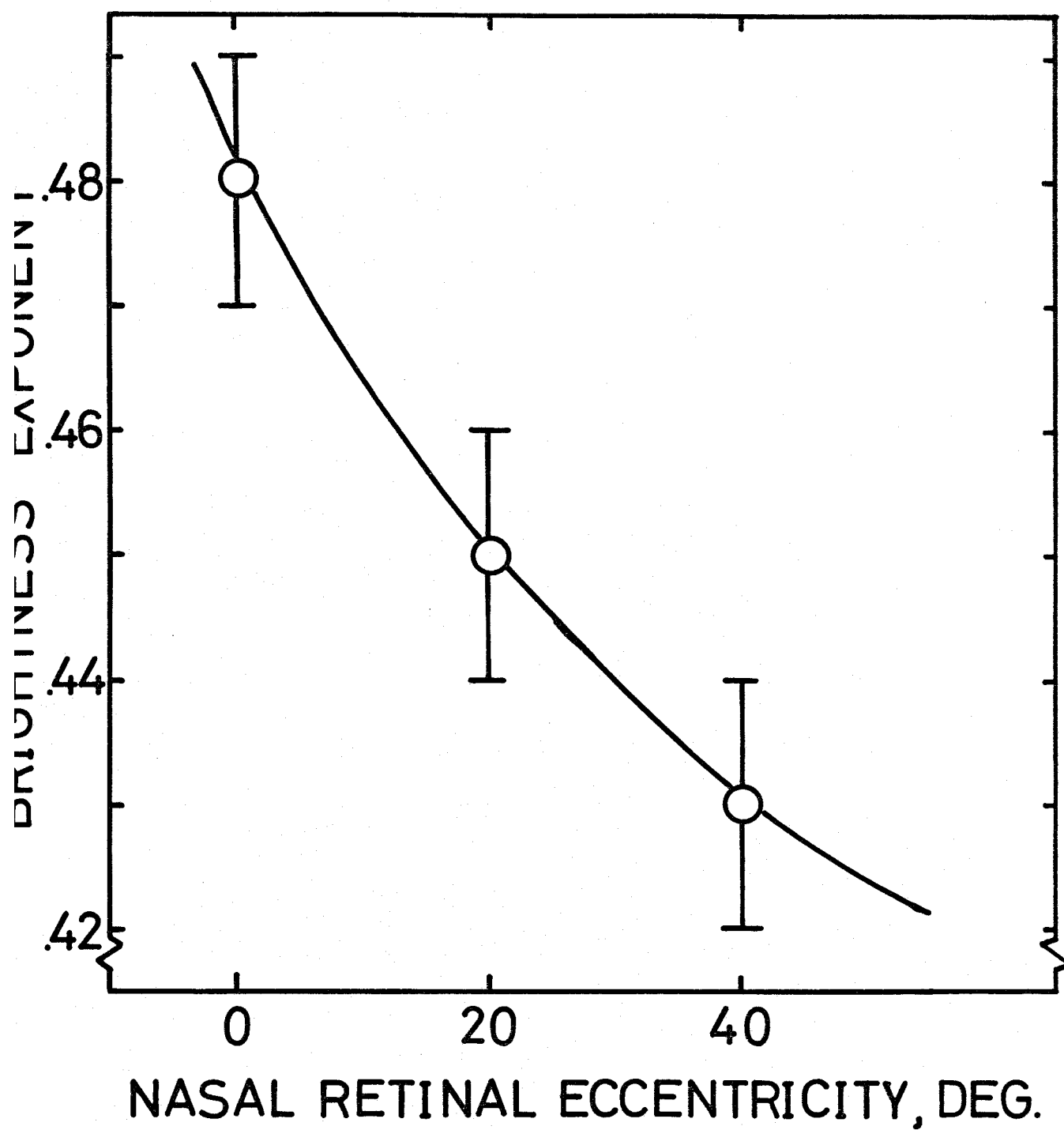


FIGURE 7. Brightness exponent for brief flashes in the Bloch region as a function of retinal eccentricity. Vertical line shows one standard error deviates.

TABLE I. Least-squares estimated parameters of the power functions relating perceived brightness to luminous energy for brief flashes in the Bloch region:  $\psi = k E^{\beta \pm \text{S.E.}}$ , where  $\psi$ ,  $E$ ,  $\beta \pm \text{S.E.}$ , and  $k$  indicates brightness, luminous energy (product of luminance and time), exponent  $\pm$  standard error, and scale factor, respectively.

Retinal eccentricity	$\beta \pm \text{S.E.}$	$k$	$r^2$
fovea	$0.48 \pm 0.01$	1.95	0.95
20° nasal	$0.45 \pm 0.01$	3.80	0.98
40° nasal	$0.43 \pm 0.01$	3.89	0.93

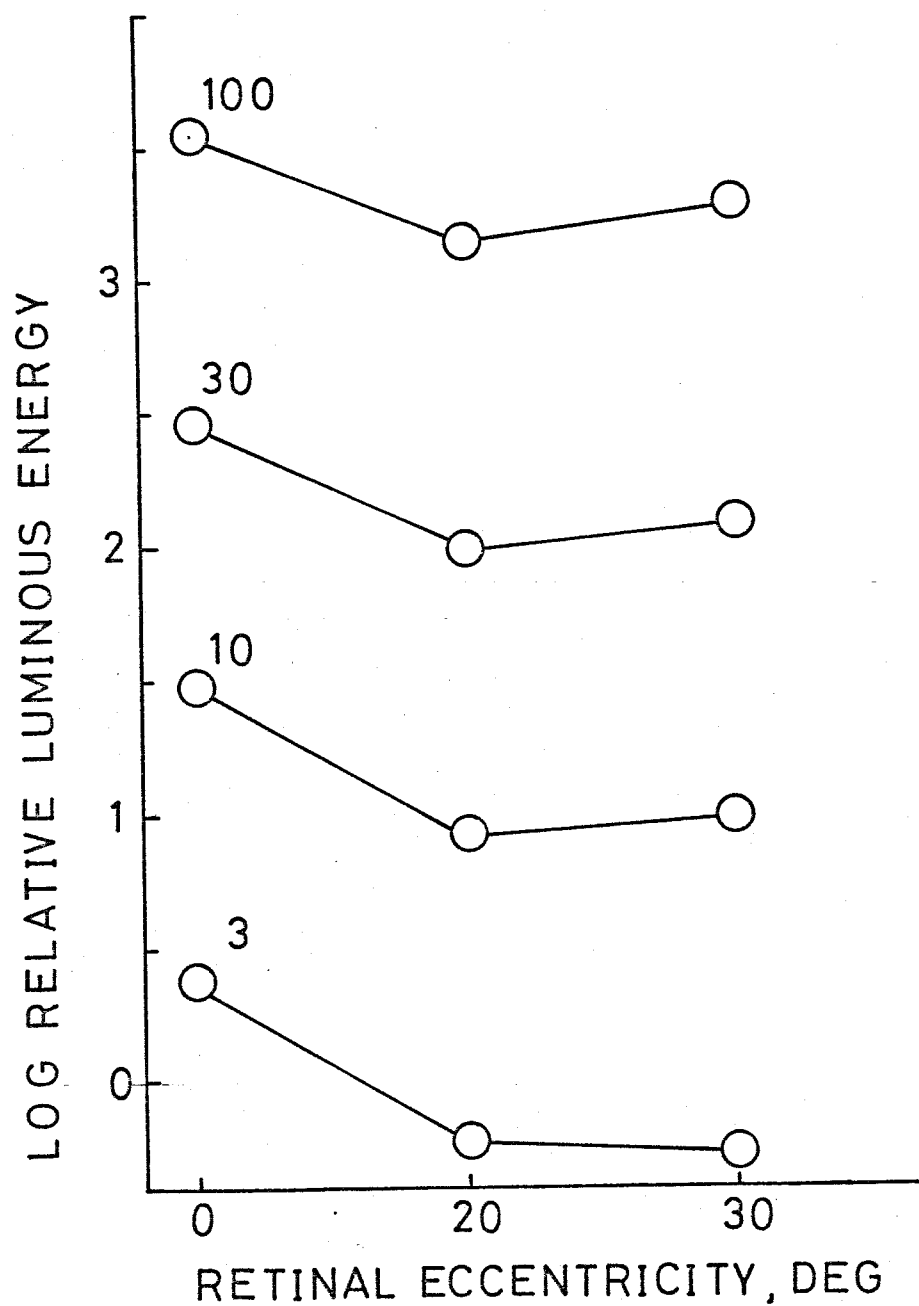


Fig.8 Equal brightness contour as a function of retinal eccentricity.



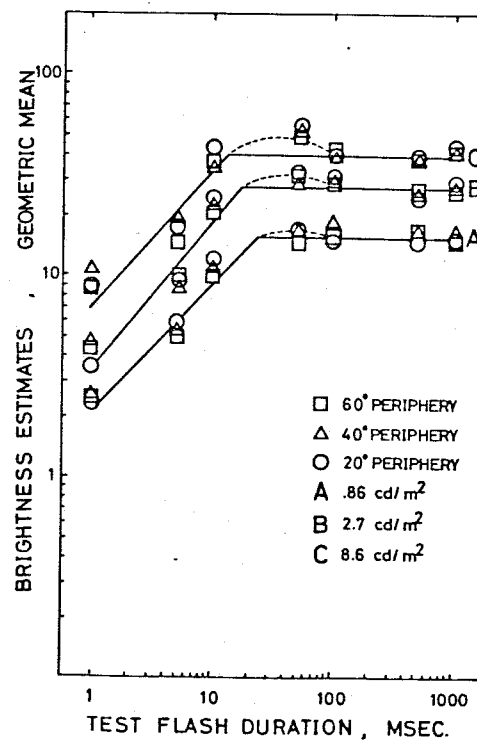
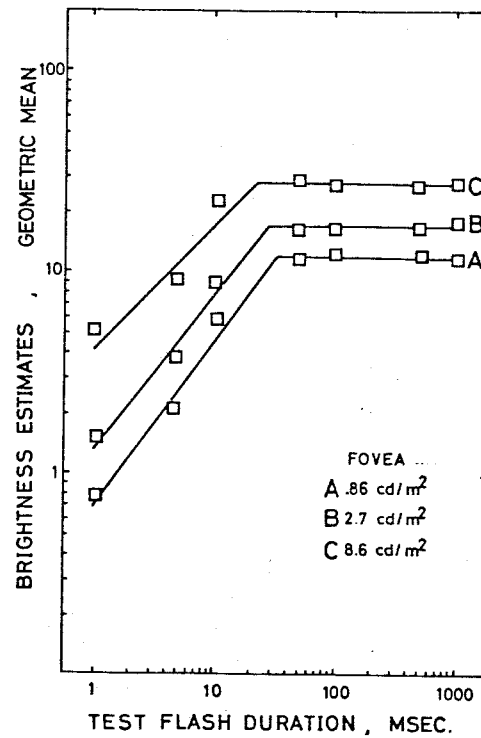


Figure 1. Perceived brightness as a function of flash duration at three levels of peak luminance in the foveal and peripheral viewing conditions. The parameter is luminance in  $\text{cd/m}^2$ .

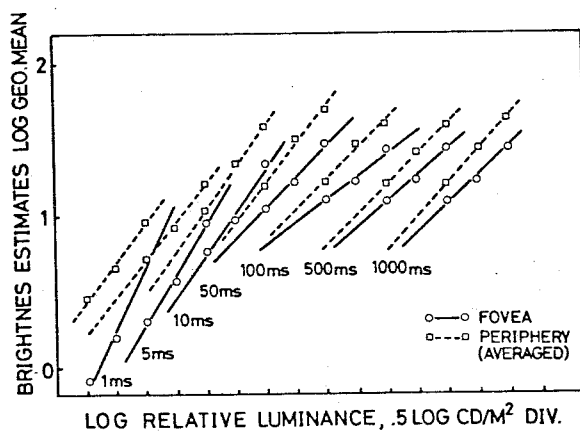
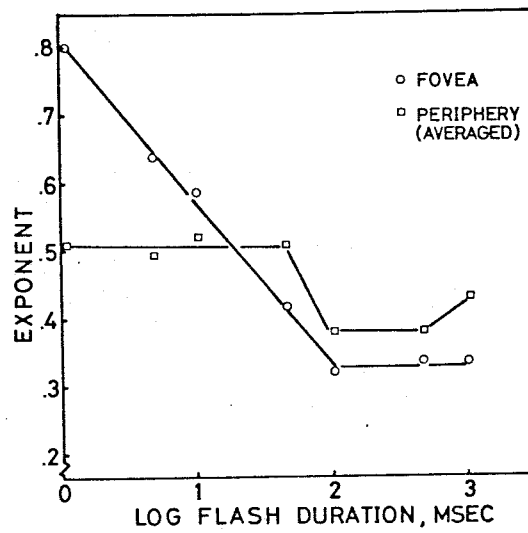


Figure 9. Perceived brightness as a function of relative luminance for seven different flash durations in foveal and peripheral viewing. The parameter is flash duration in milliseconds.



1)  
Figure 3. Exponents of the brightness power function shown in Figure 2 as a function of flash duration in foveal and peripheral viewing. Exponents for the periphery were averaged since little difference was found.

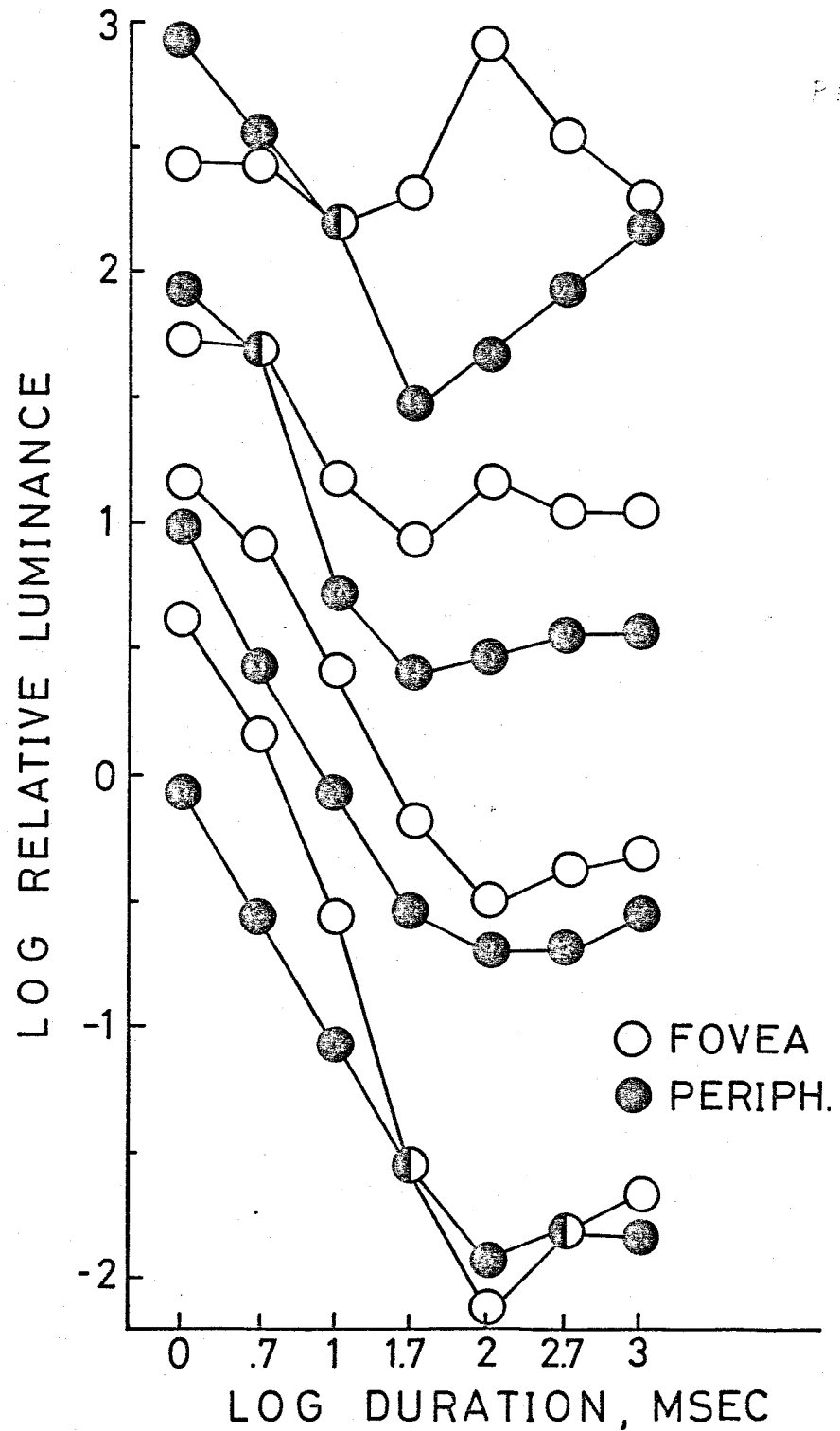
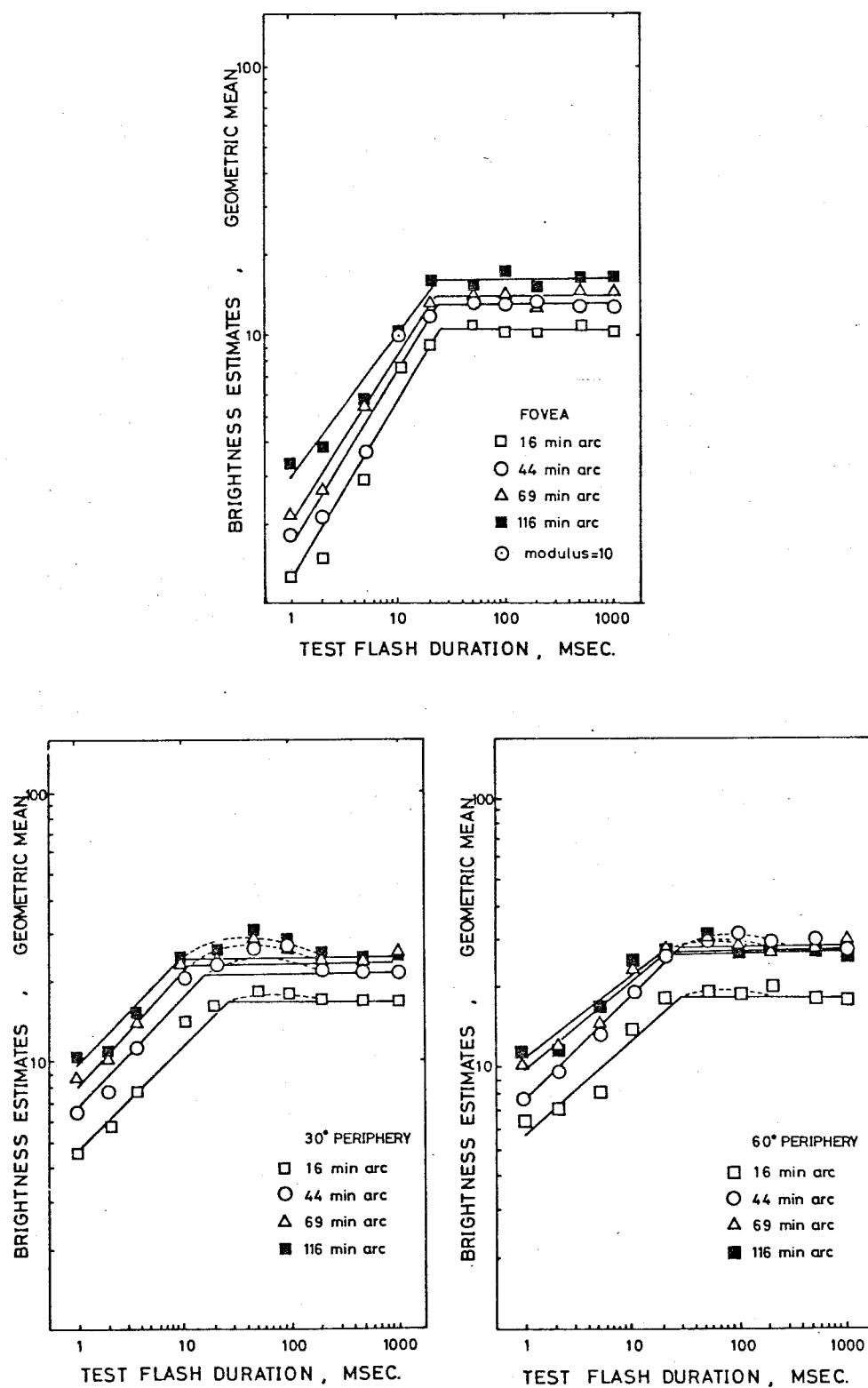


Fig.12 Equal brightness contour as a function of flash duration in the fovea and in the periphery.



13  
Figure 4. Perceived brightness as a function of flash duration at four different target sizes in the foveal and peripheral viewing.

Fig.14 Brightness estimate as a function of time in second.

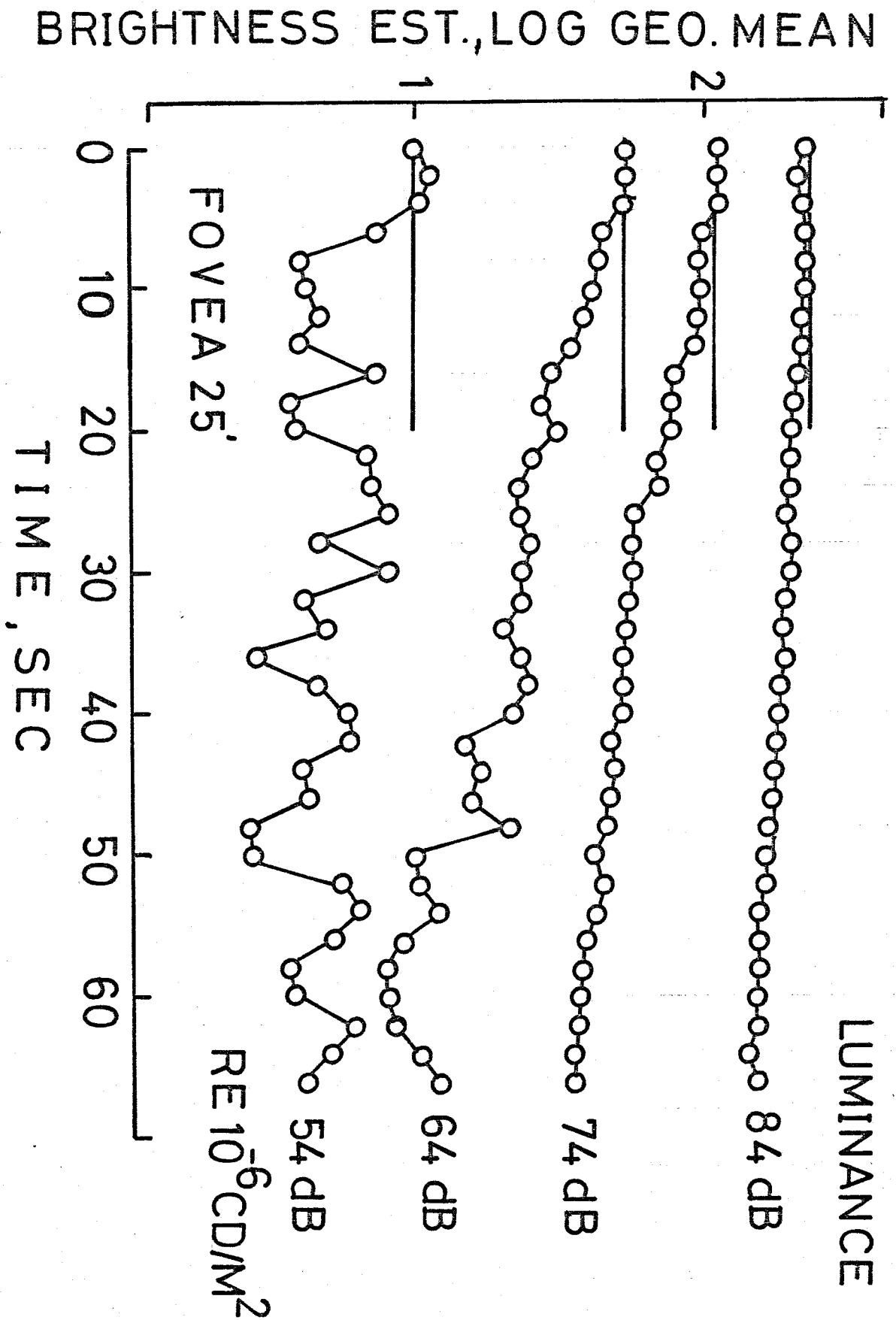


Fig.15 Brightness estimate as a function of time in second.

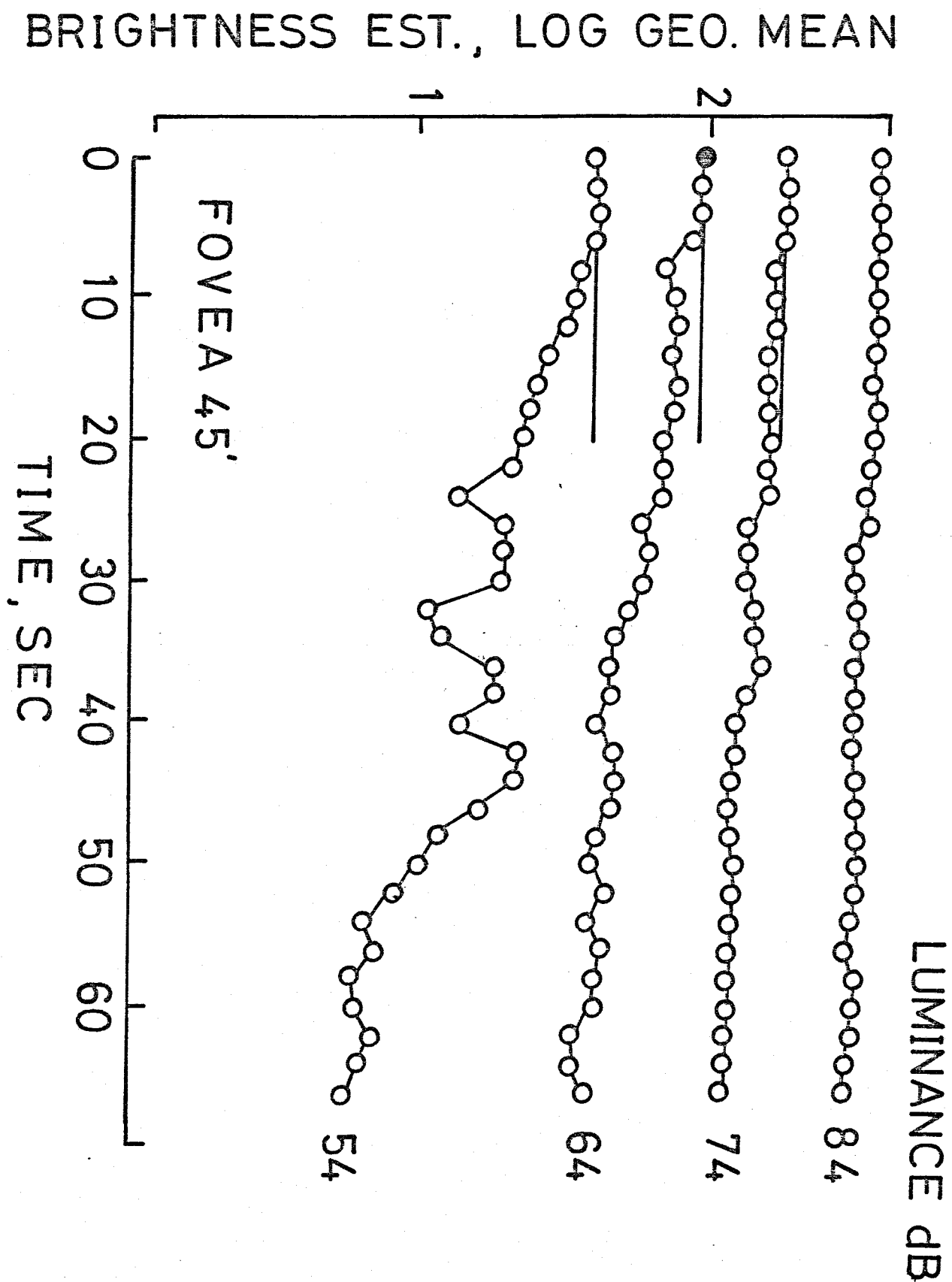


Fig.16 Brightness estimate as a function of time in second.

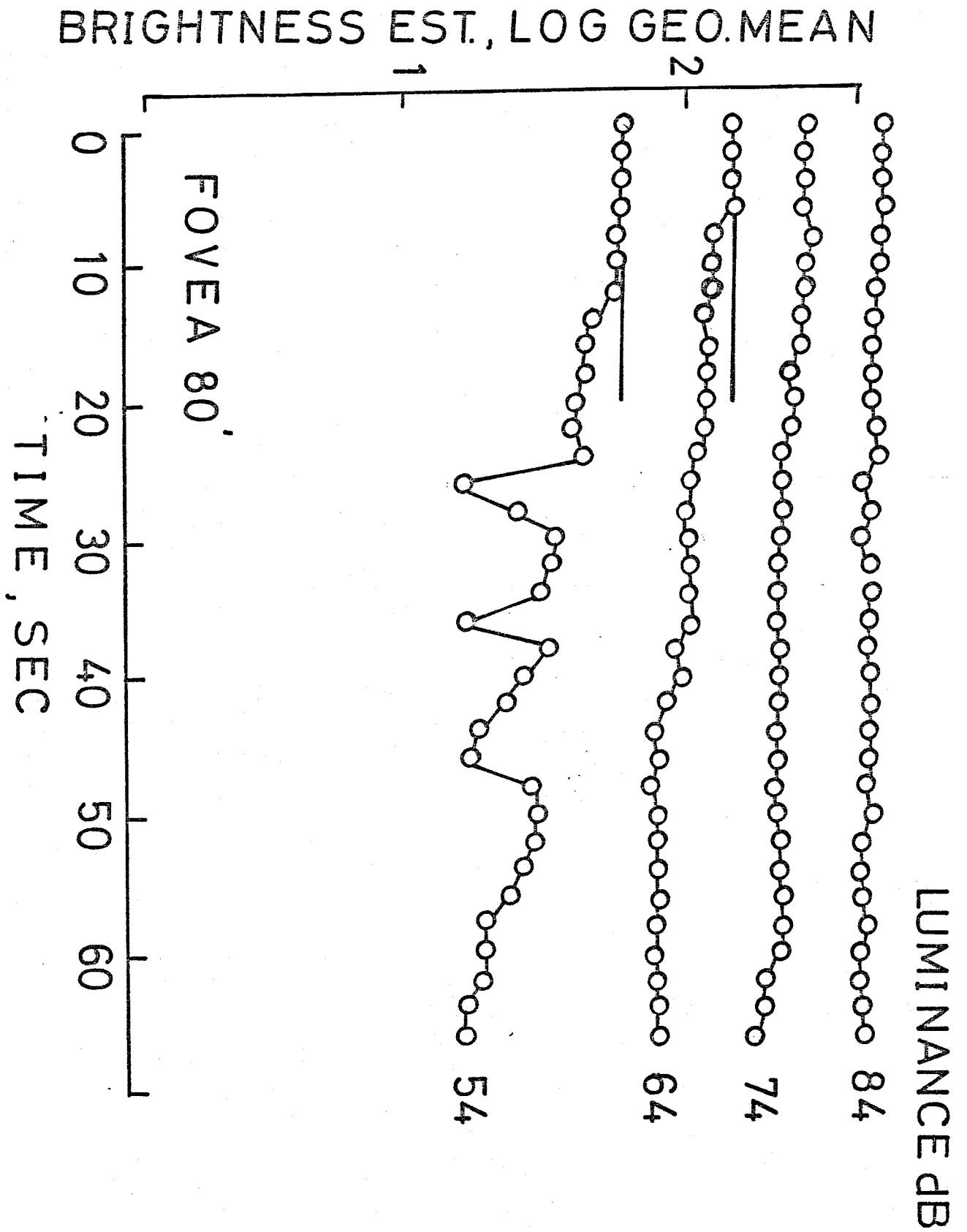




Fig.17 Brightness estimate as a function of time in second.

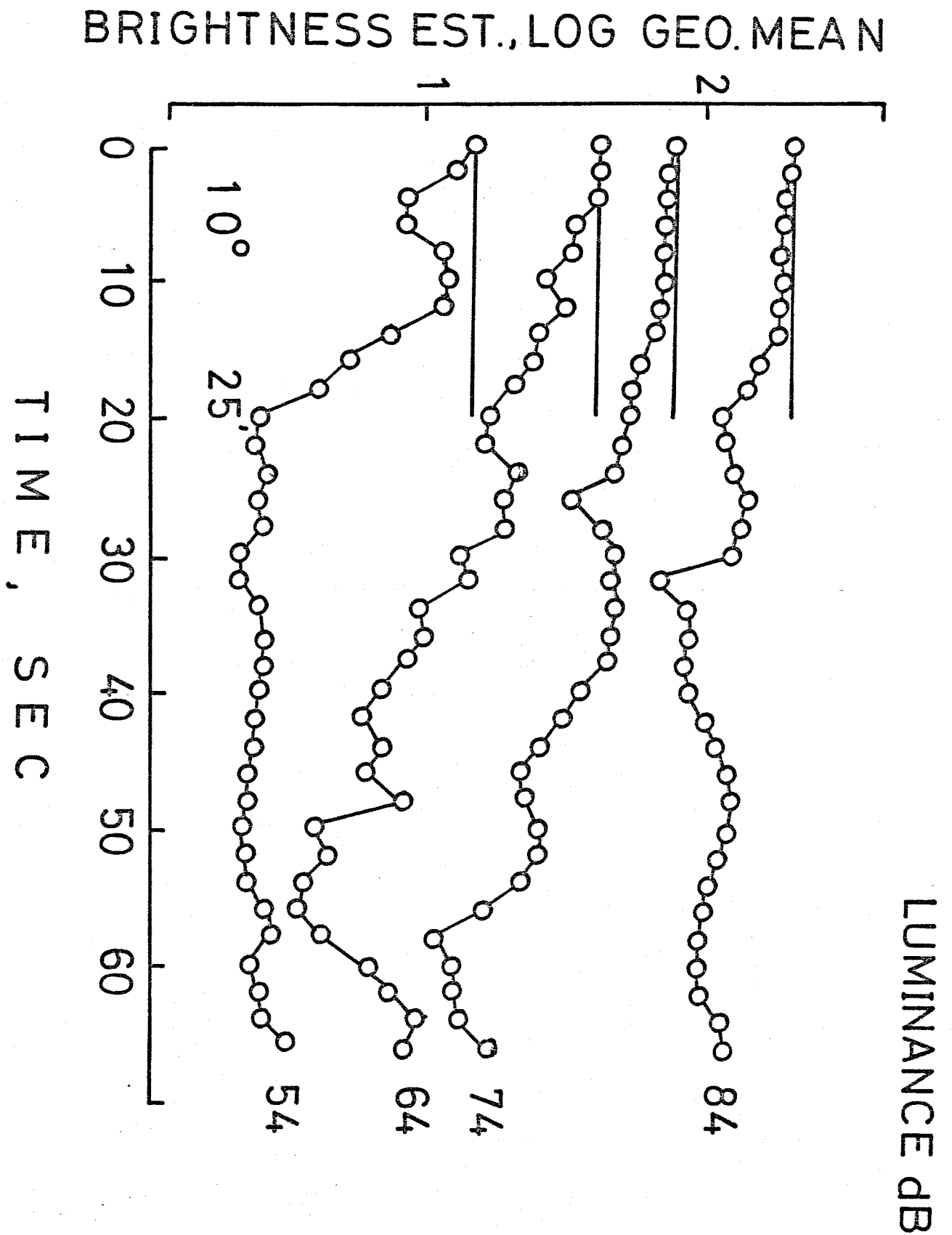


Fig.18 Brightness estimate as a function of time in second.

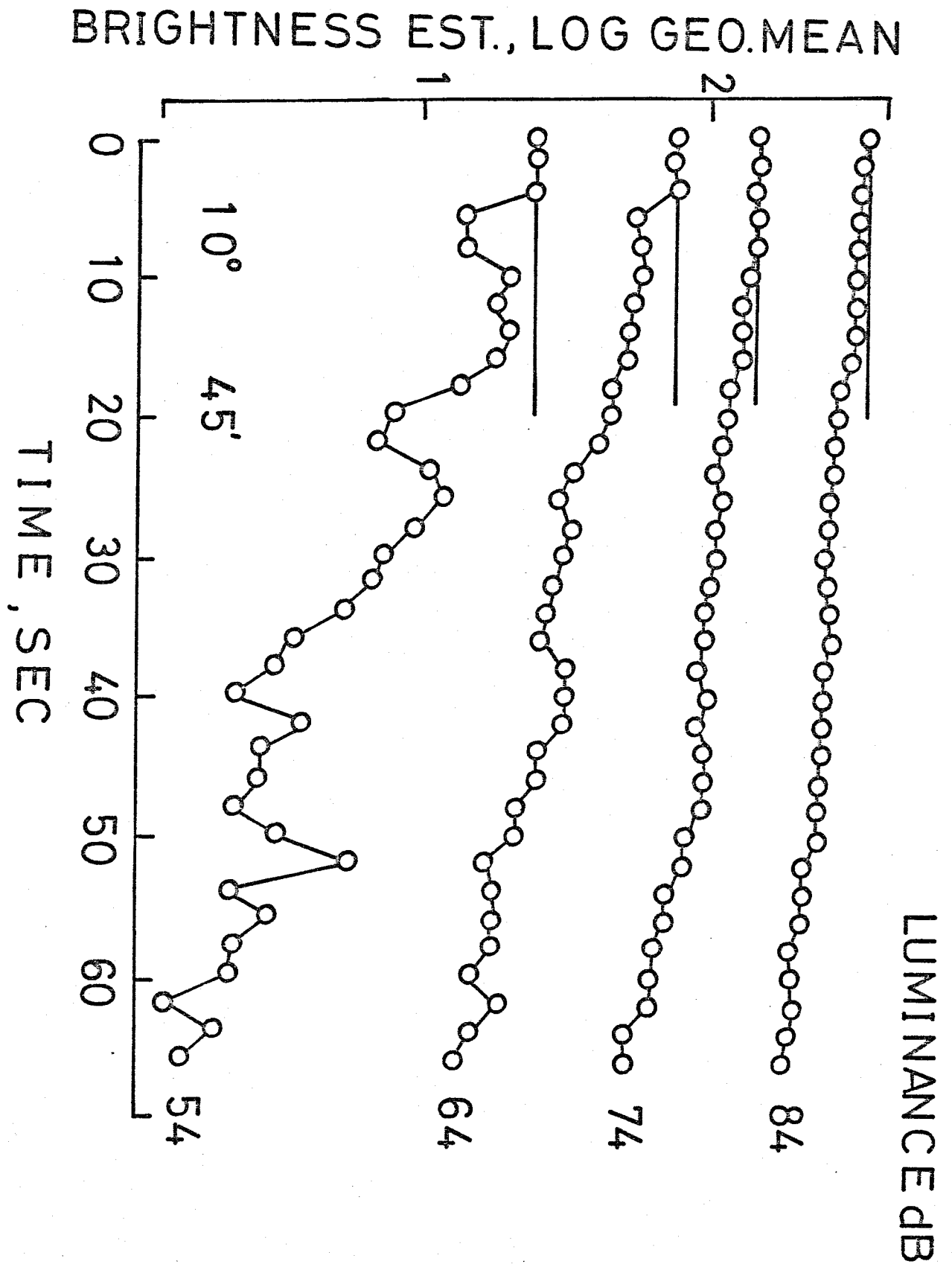


Fig.19 Brightness estimate as a function of time in second.

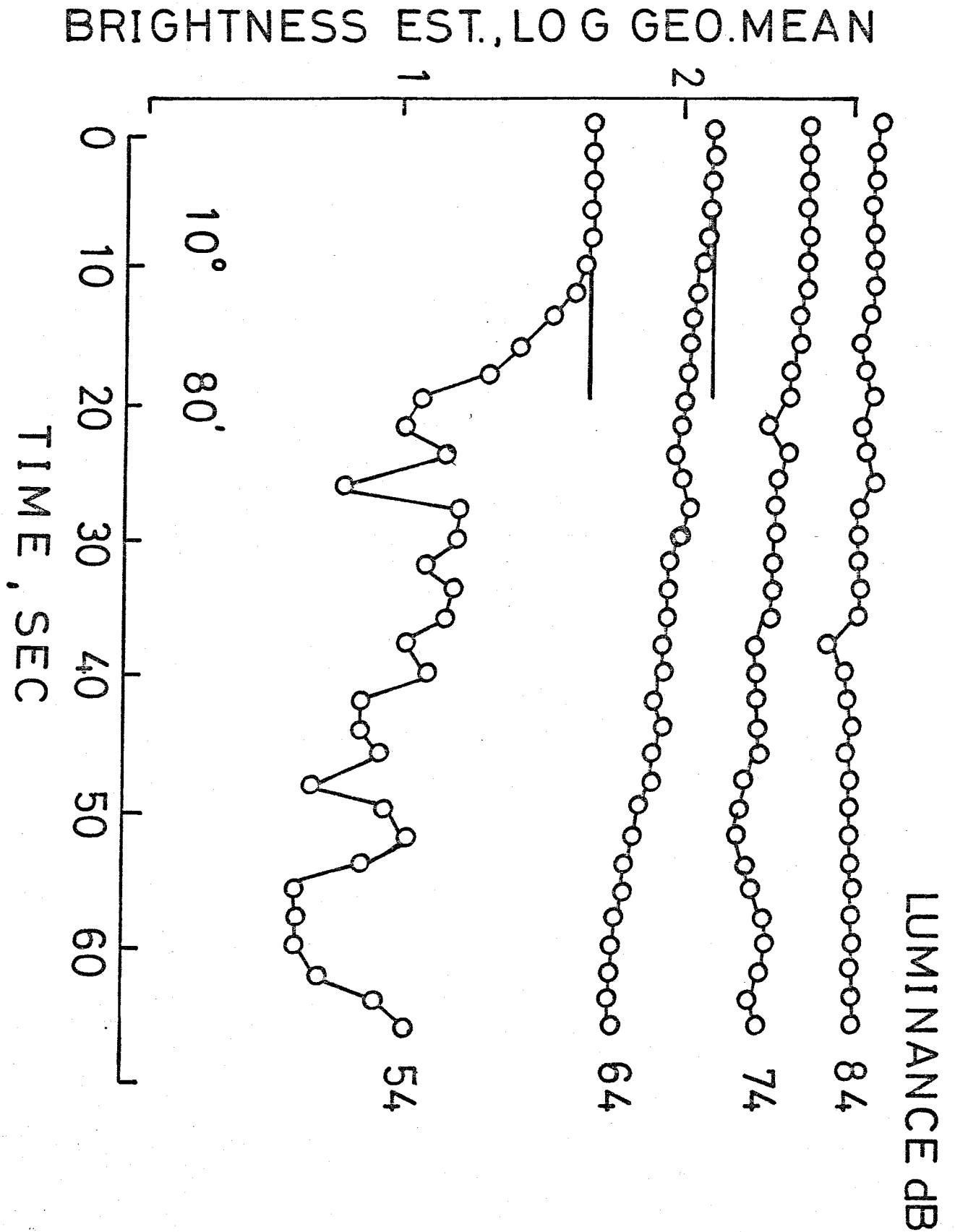


Fig.2o Brightness estimate as a function of time in second.

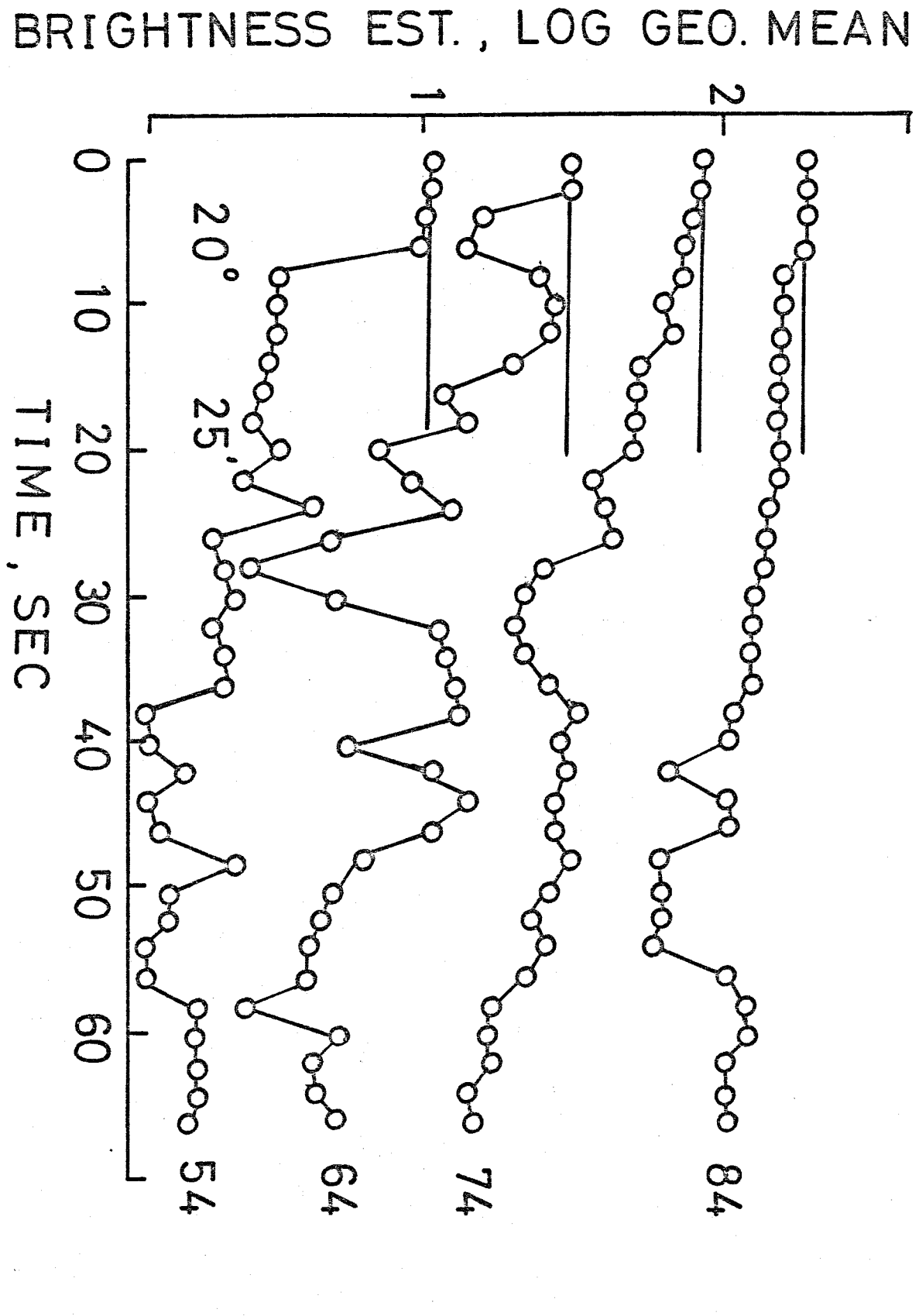


Fig.21 Brightness estimate as a function of time in second.

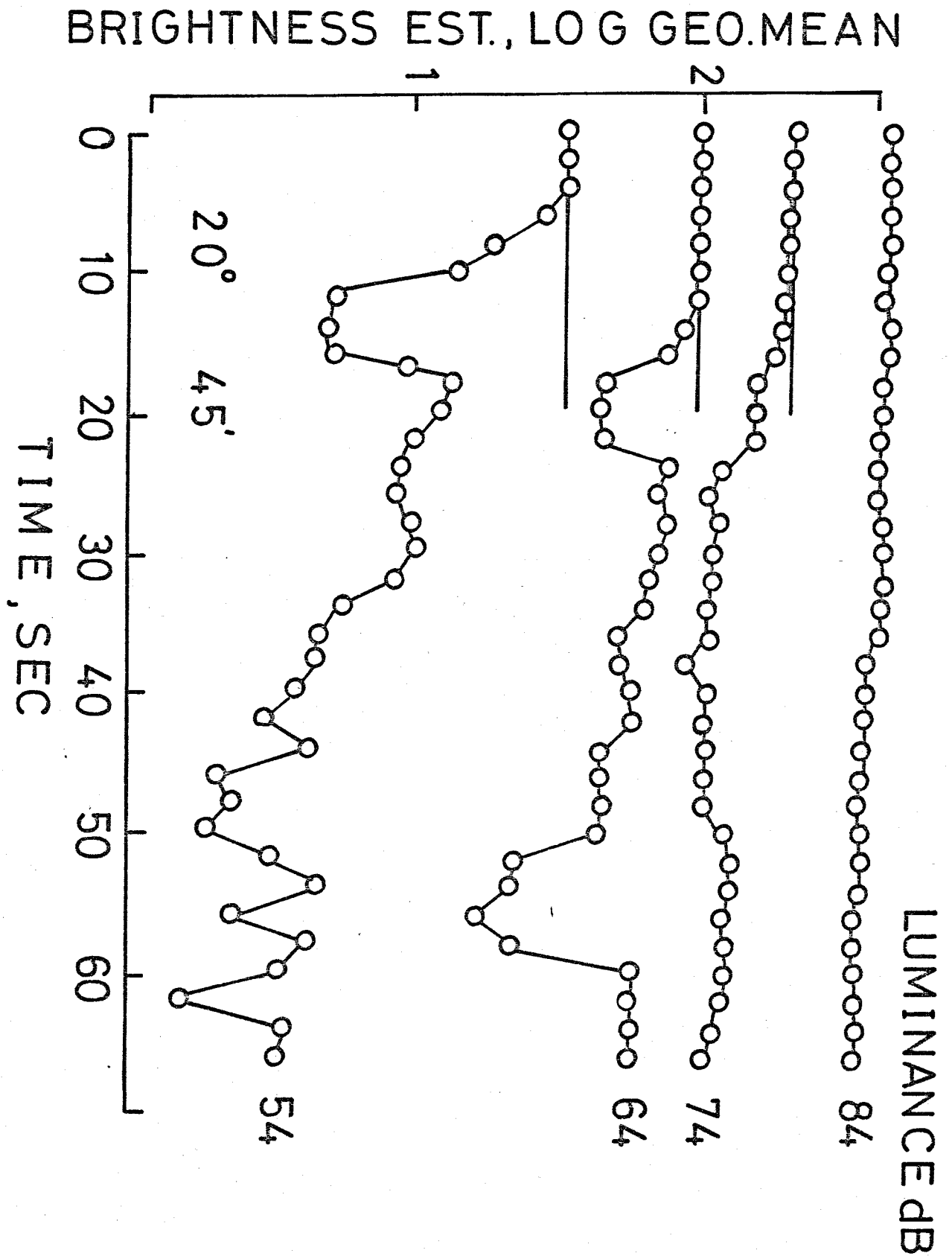
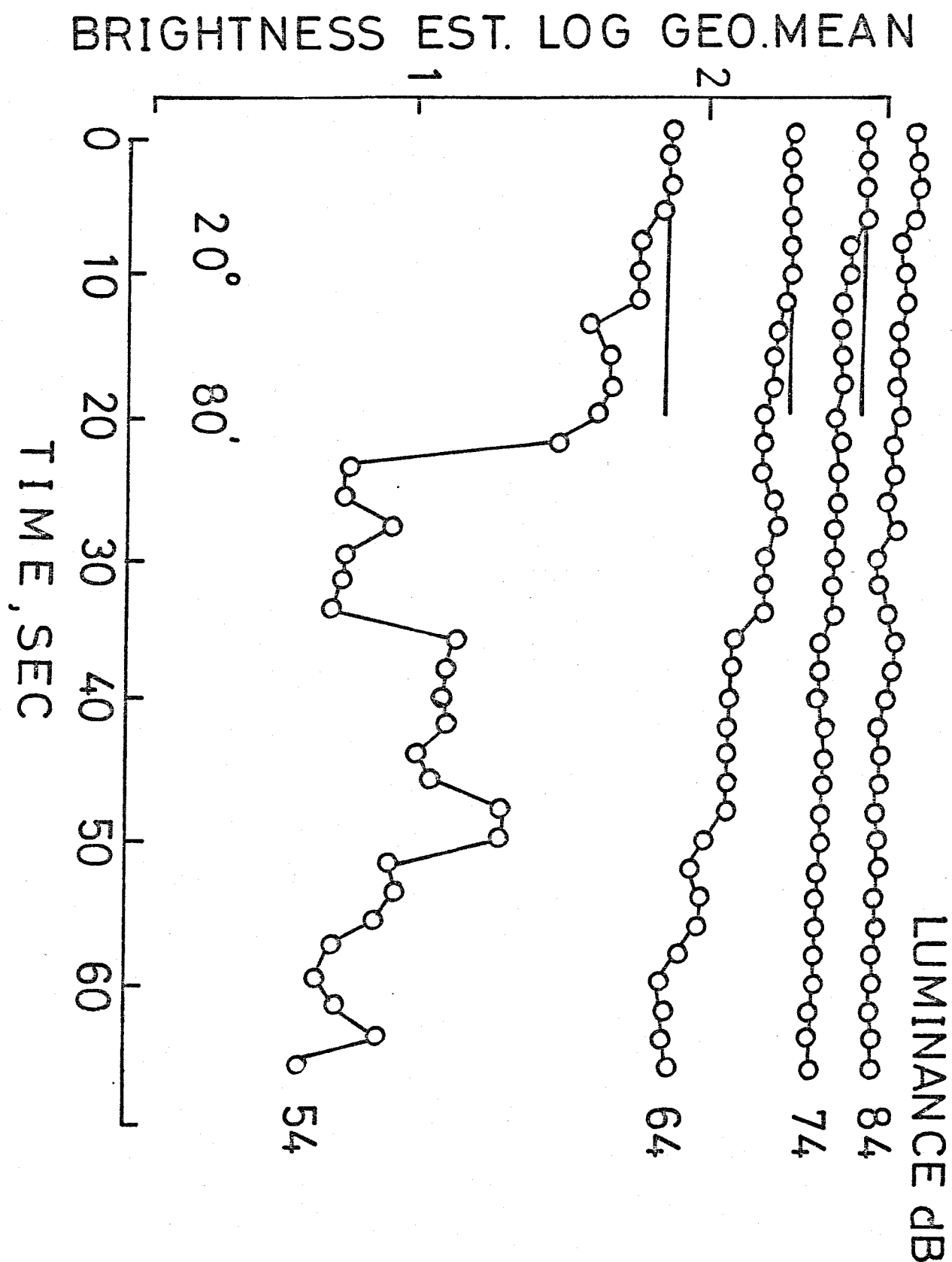


Fig.22 Brightness estimate as a function of time in second.



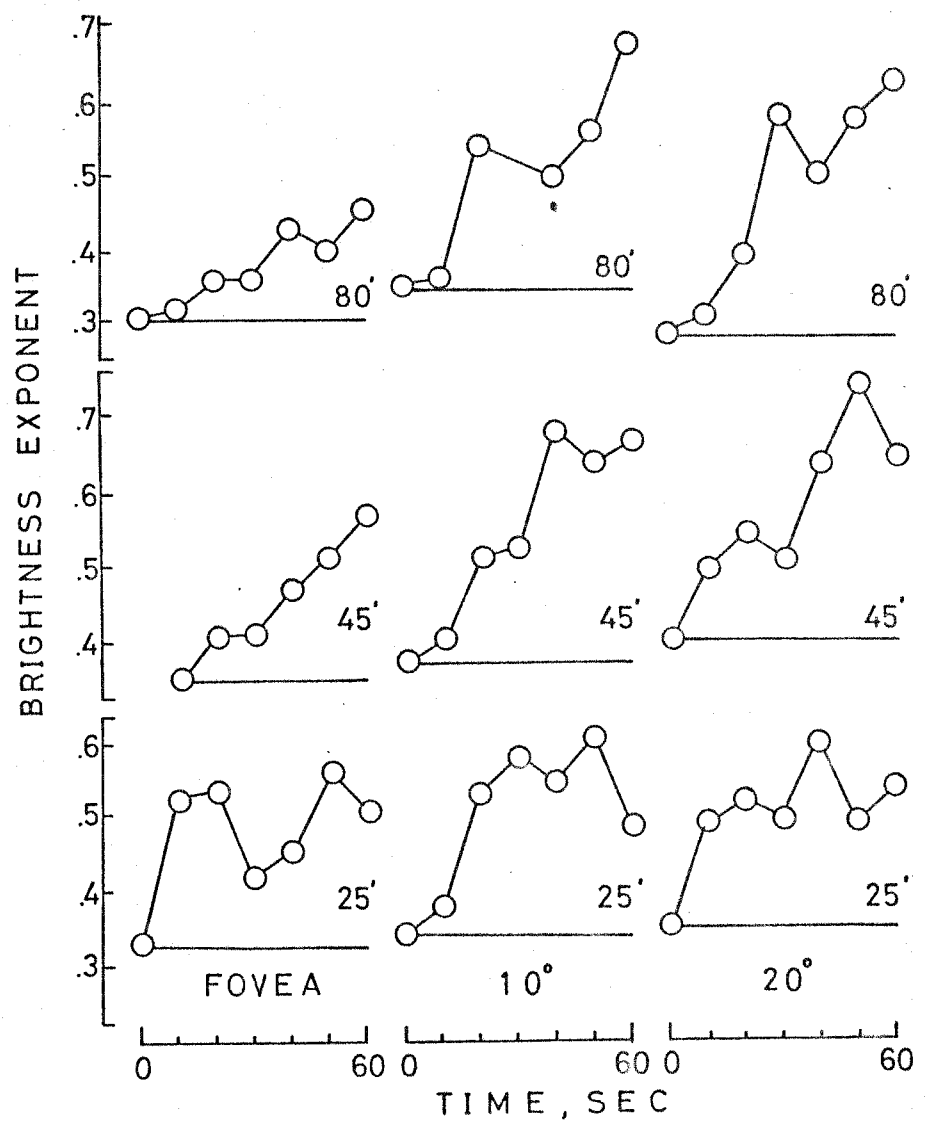


Fig.23 Brightness exponent as a function of exposure time.

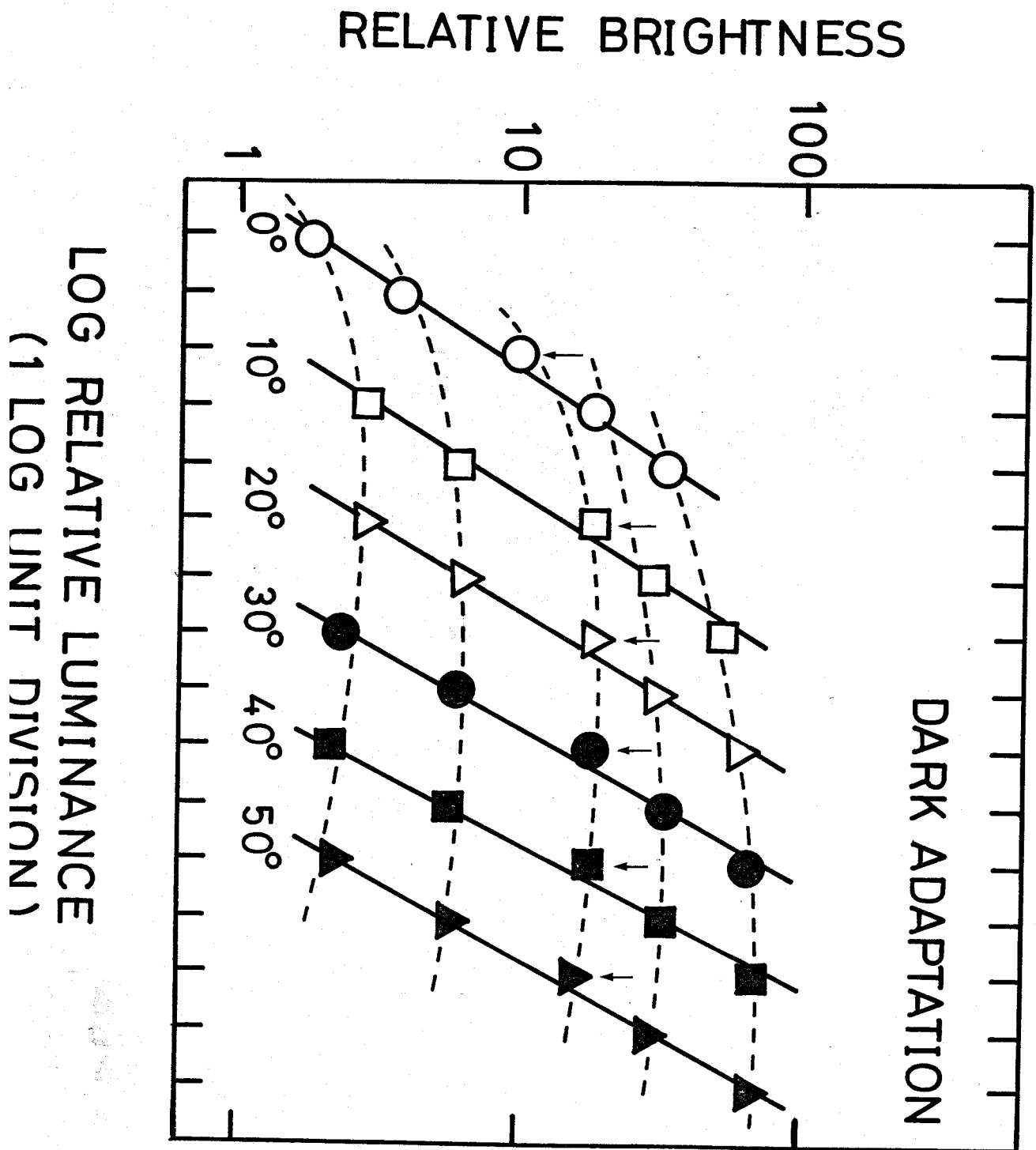


Fig.24 Perceived brightness as a function of relative luminance for dark-adapted eye.



Table 2. Estimated parameters of the power function relating perceived brightness to luminance for 1-sec flashes under dark-adaptation:  $\Psi = k \cdot L^B$ , where  $\Psi$ ,  $L$ ,  $B$ , and  $k$  indicate brightness, luminance, exponent, and a scaling factor, respectively. S.E. and  $r$  indicate standard error and Pearson product moment coefficient of correlation

Retinal			
Wccentricity	$B \pm \text{S.E.}$	$k$	$r^2$
Fovea	$0.32 \pm 0.01$	5.88	0.99
10° nasal	$0.32 \pm 0.01$	9.20	0.98
20° nasal	$0.34 \pm 0.01$	9.59	0.99
30° nasal	$0.36 \pm 0.01$	9.27	0.99
40° nasal	$0.38 \pm 0.01$	9.01	0.99
50° nasal	$0.37 \pm 0.01$	8.69	0.99

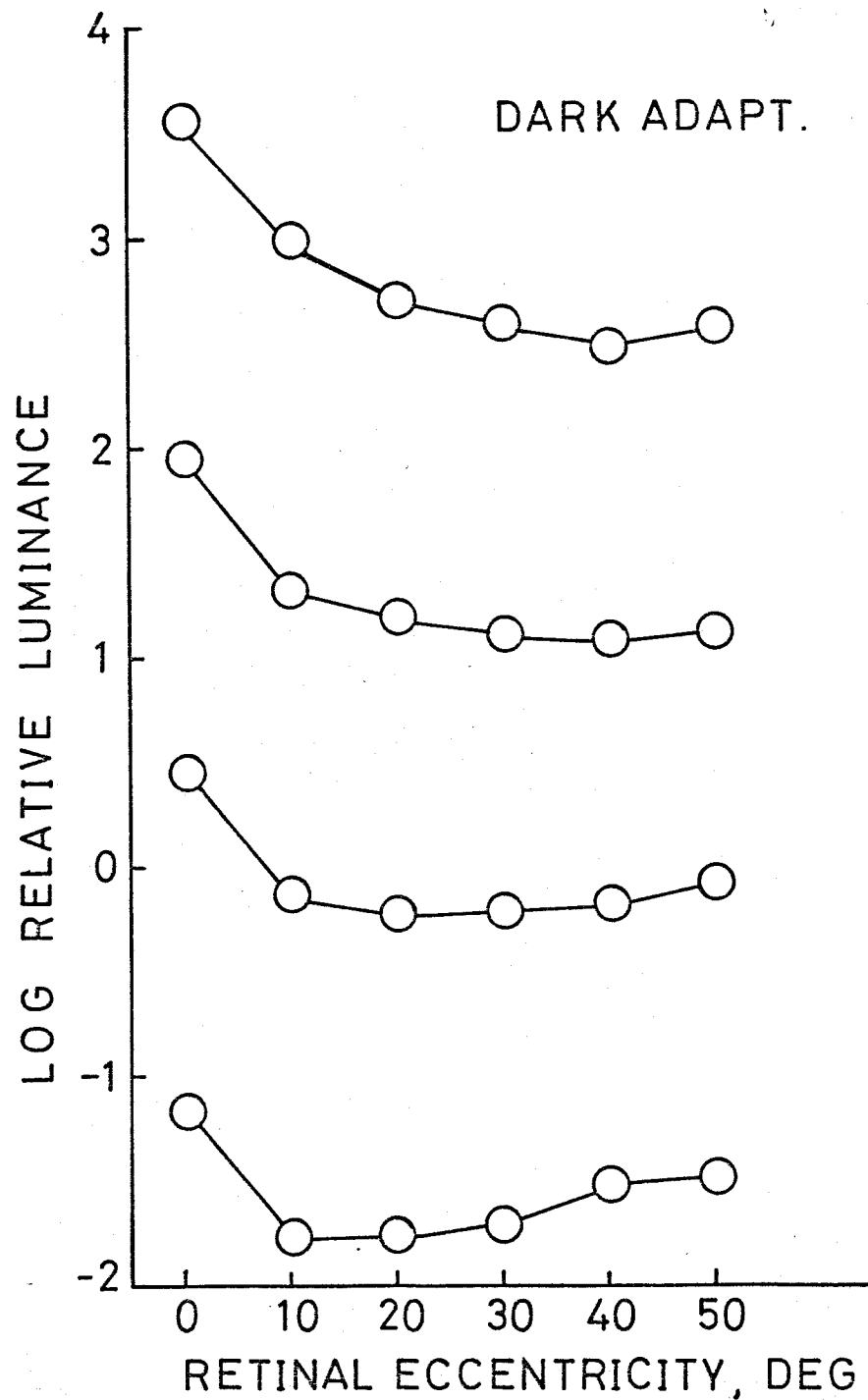


Fig.25 Equal brightness contour as a function of retinal eccentricity for dark-adapted eye.

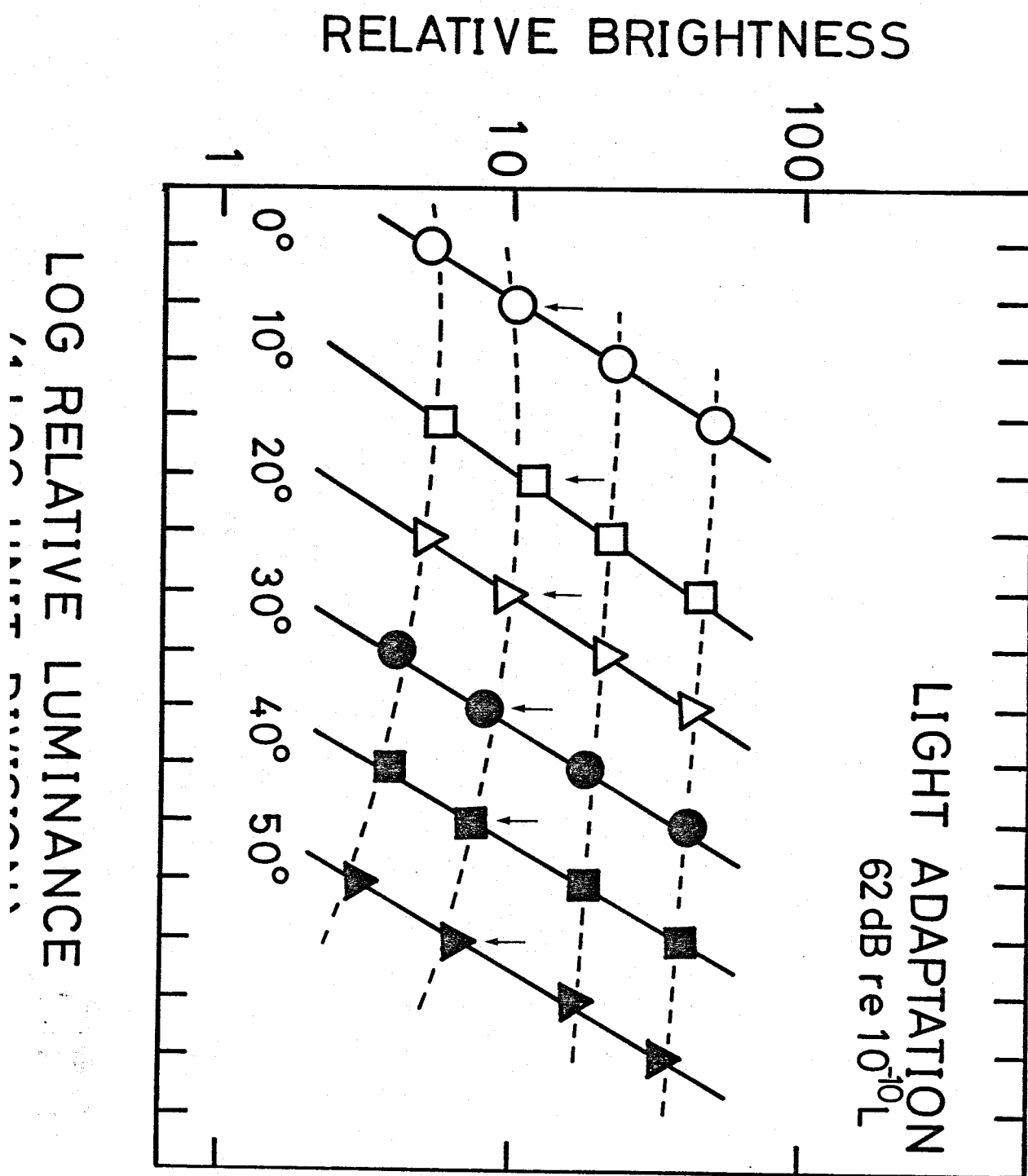


Fig.26 Perceived brightness as a function of relative luminance for light-adapted eye.

Table 3. Estimated parameters of the power function relating perceived brightness to luminance for 1-sec flashes under light-adaptation:  $\Psi = k \cdot L^B$ , where  $\Psi$ ,  $L$ ,  $B$ , and  $k$  indicate brightness, luminance, exponent, and a scaling factor, respectively. S.E. and  $r$  indicate standard error and Pearson product moment coefficient of correlation

Retinal			
Eccentricity	$B \pm \text{S.E.}$	$k$	$r^2$
Fovea	$0.33 \pm 0.01$	3.78	0.99
$10^\circ$ nasal	$0.32 \pm 0.01$	4.35	0.99
$20^\circ$ nasal	$0.31 \pm 0.01$	3.50	0.99
$30^\circ$ nasal	$0.34 \pm 0.01$	3.00	0.99
$40^\circ$ nasal	$0.35 \pm 0.01$	2.56	0.99
$50^\circ$ nasal	$0.36 \pm 0.01$	2.07	0.99

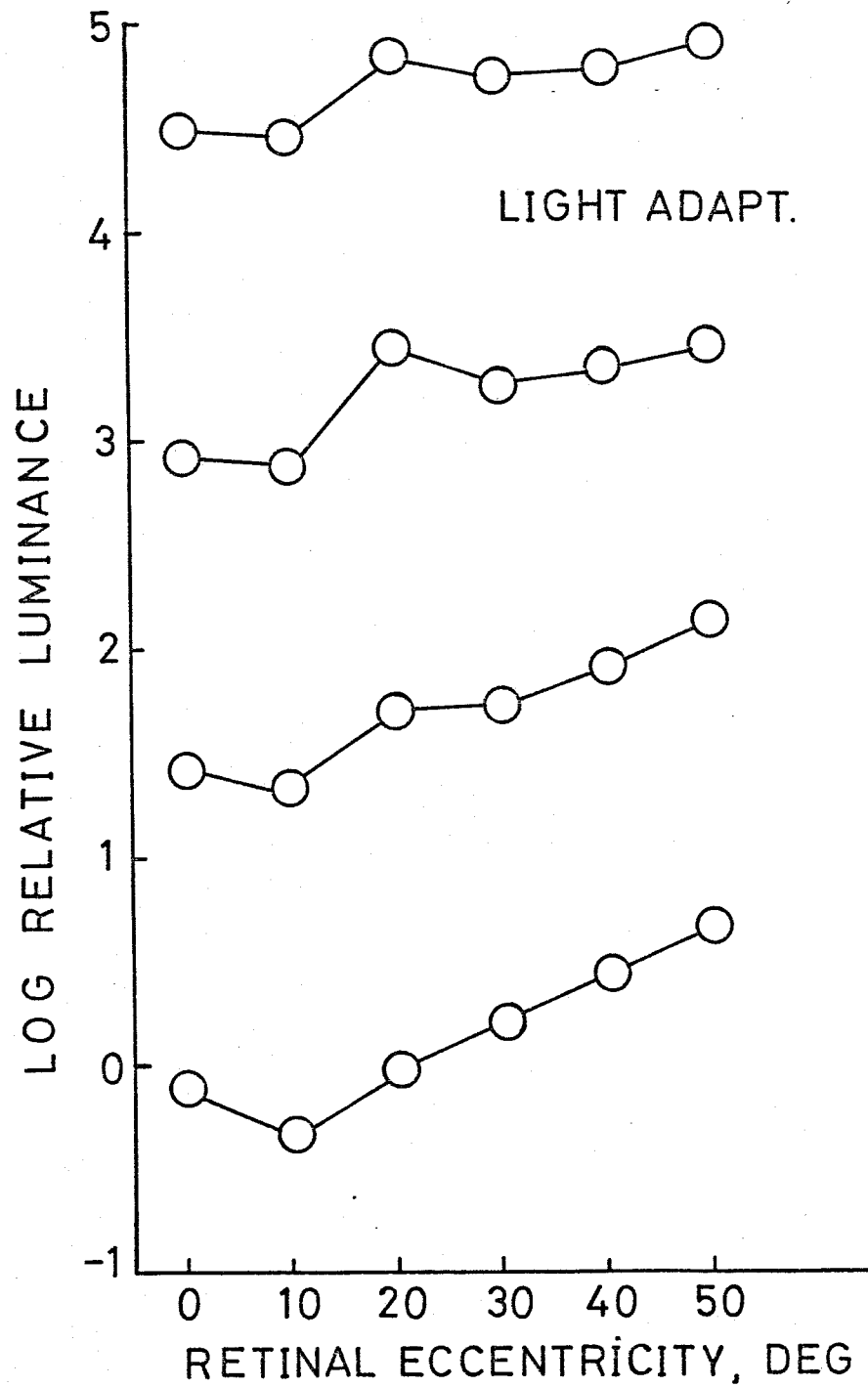


Fig.27 Equal brightness contour as a function of retinal eccentricity for light-adapted eye.

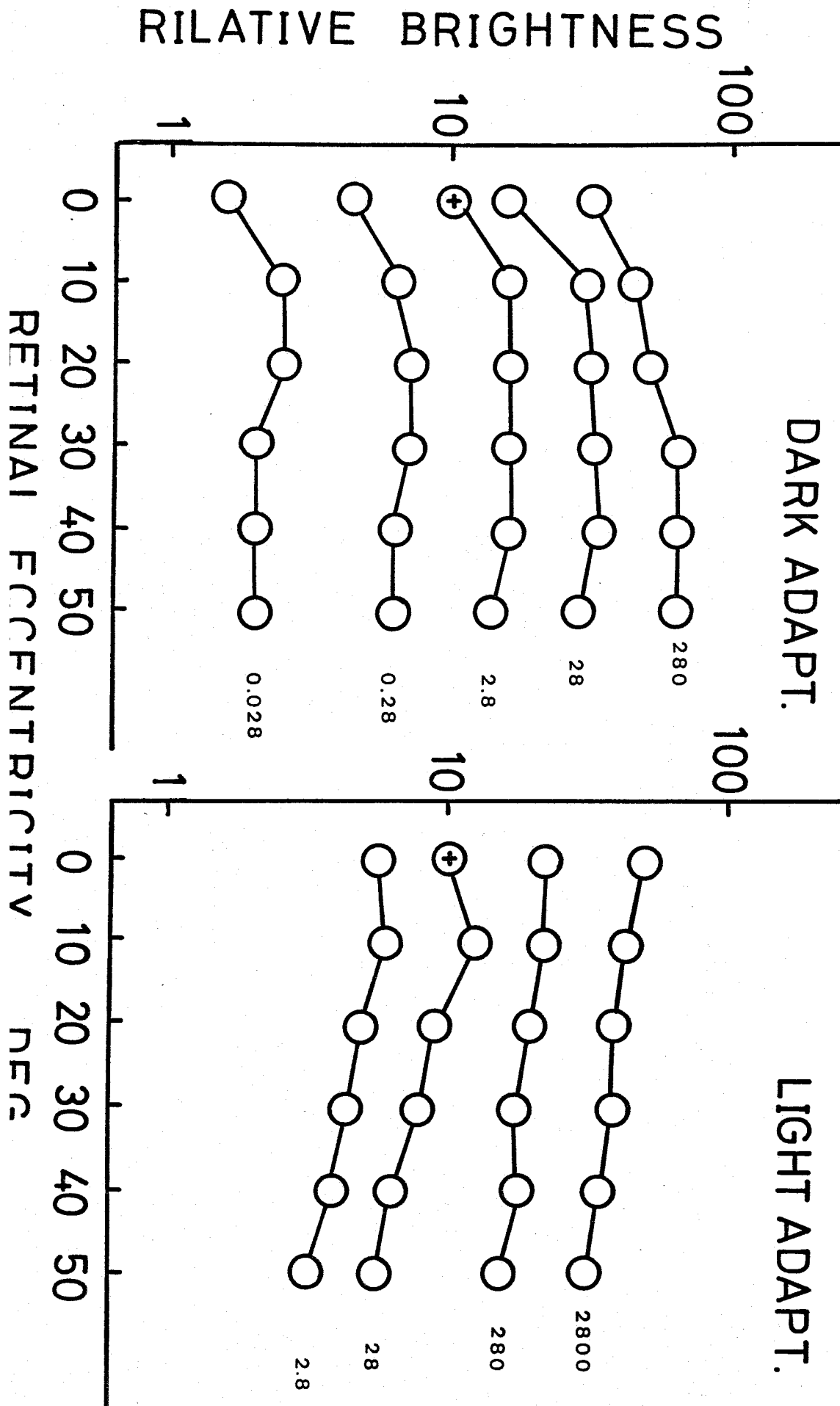


Fig.28 Perceived brightness as a function of retinal eccentricity for dark- and light-adapted eye.

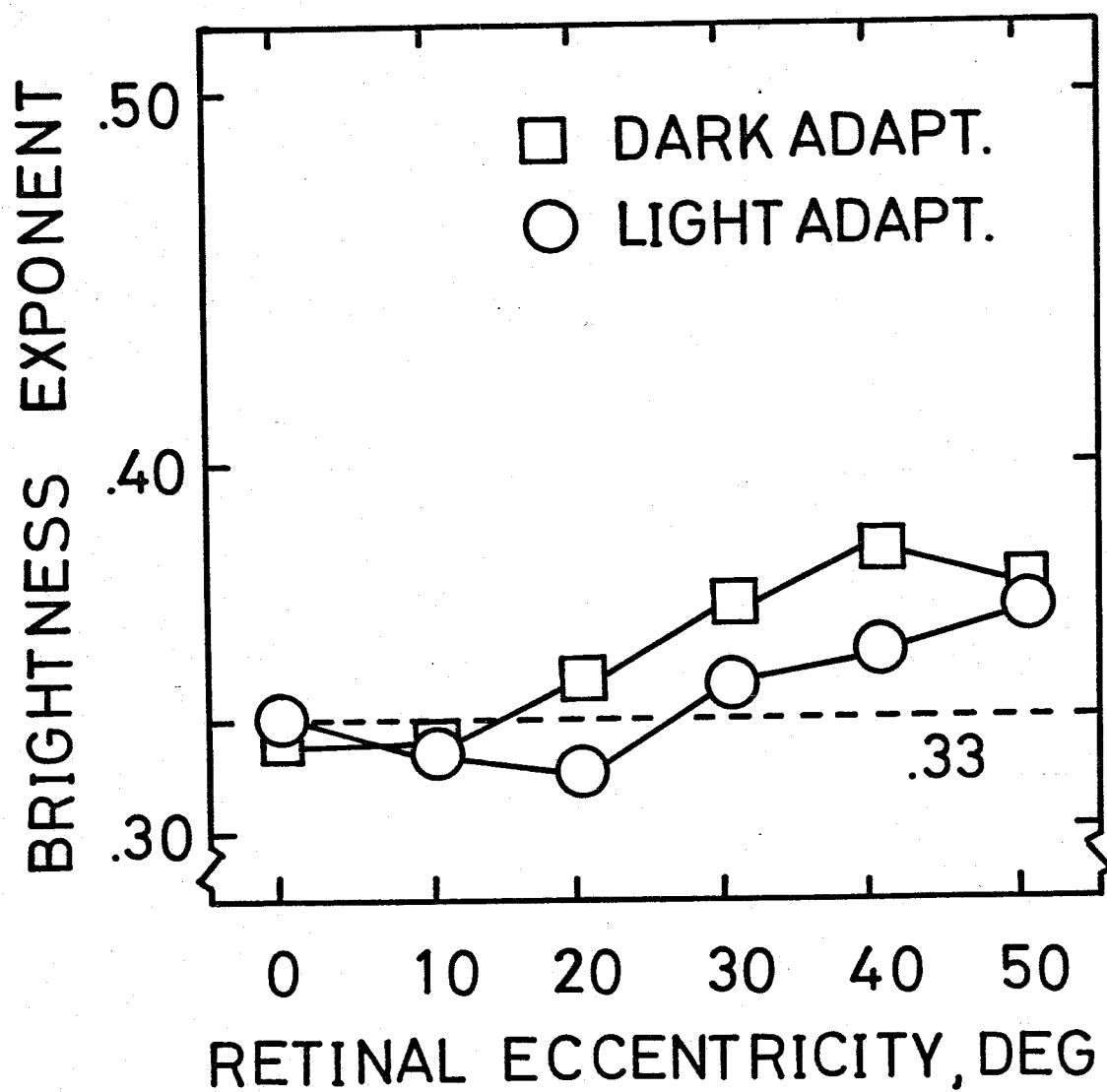


Fig. 29 Brightness exponent as a function of retinal eccentricity for dark- and light-adapted eye.

2.2  
KA

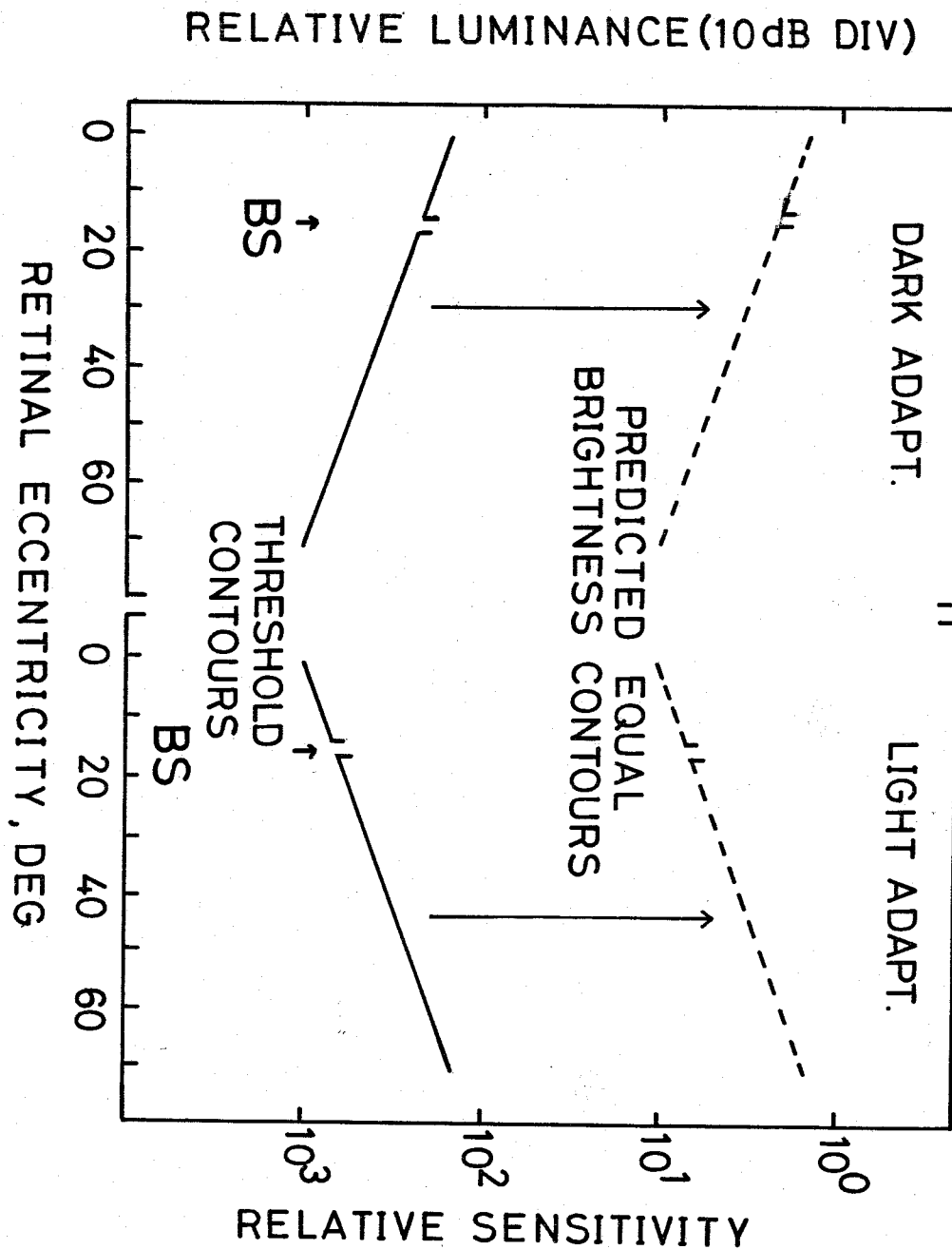


Fig.30 Equal brightness contours at threshold and supra-threshold

levels across the retinal locus under dark- and light-adaptation. Predicted equal brightness contours at supra-threshold level can be obtained with parallel shifting of the threshold contour under the assumption that the exponent of the power function and the brightness at detection threshold are both independent of retinal locus. BS: Blind spot.



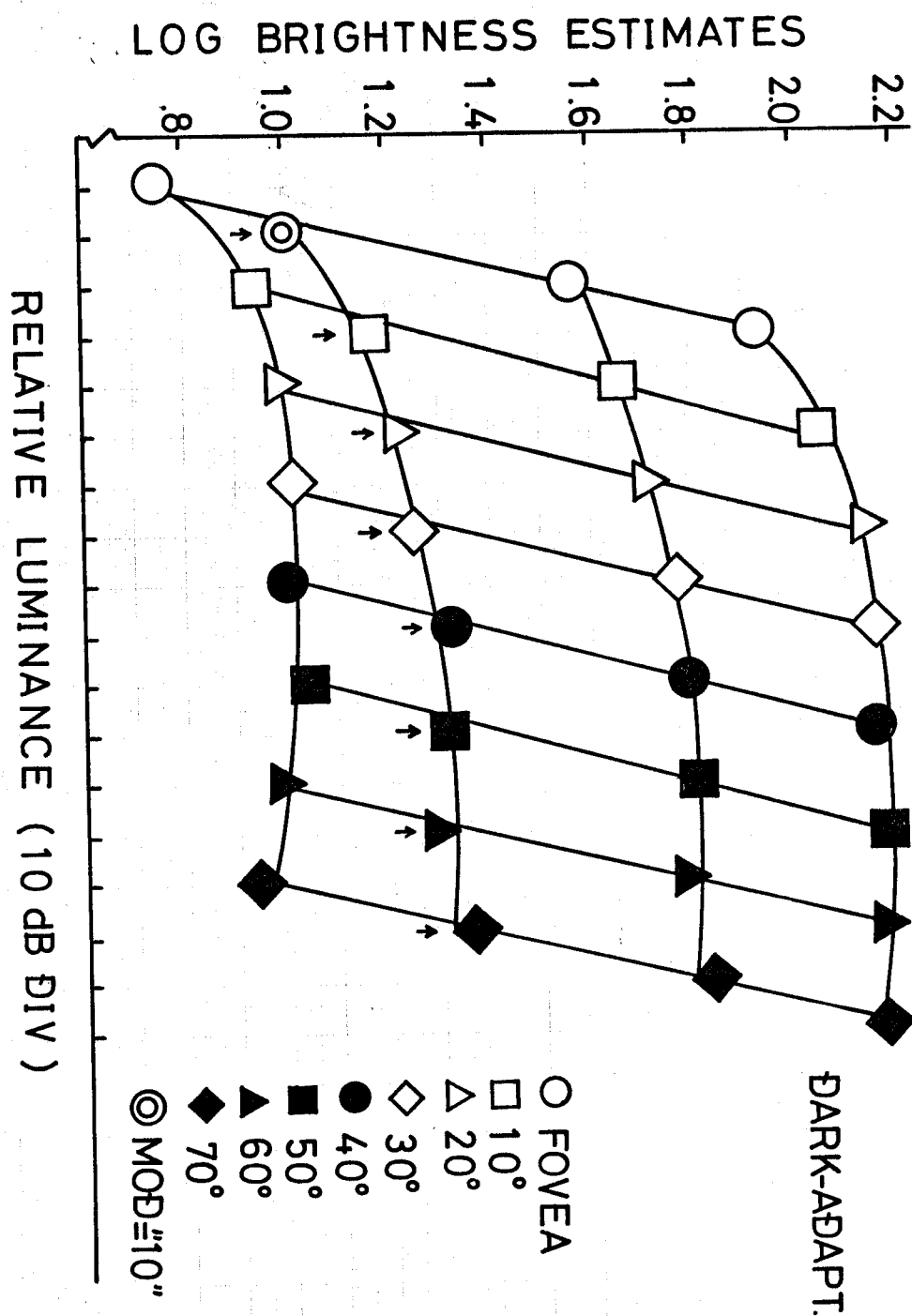


Fig.31 Log brightness estimate as a function log relative luminance under dark-adaptation. Parameter is retinal locus. The slope of the straight line show exponent of the brightness power function. horizontal curves show equal luminance contours. One data point indicates a geometric mean based on 30 estimates across the 6 observers. The arrow indicates 64 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>.

Table 4. Exponents of the foveal and peripheral brightness power functions for dark- and light-adaptation. Coefficient of determination are shown in parenthesis.

	Retinal locus							
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°
Dark-adapt. .37	.38	.39	.40	.40	.40	.40	.41	.42
	(.983)	(.983)	(.981)	(.983)	(.996)	(.989)	(.992)	(.997)
Light-adapt. .41	.43	.44	.47	.49	.60	.60	.60	.73
	(.986)	(.986)	(.990)	(.993)	(.999)	(.996)	(.998)	(.995)

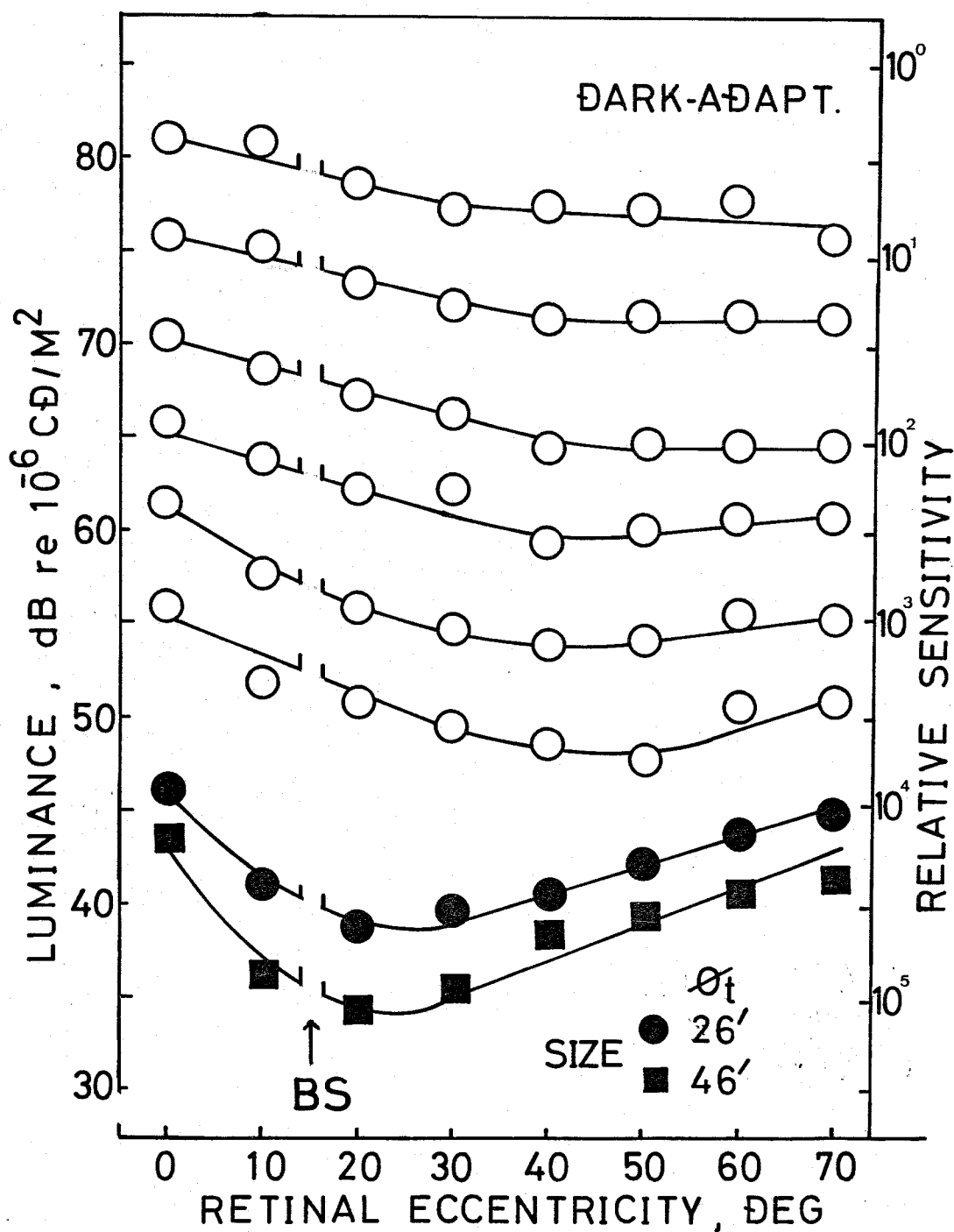


Fig.32 Equal brightness contours across the retinal locus under dark-adaptation. Luminance required for constant brightness changes as a function of retinal eccentricity. Filled circles (26') and squares (46') show detection threshold ( $\phi_t$ ), and open circles indicate equal brightness contours at each levels. BS: Blind spot.

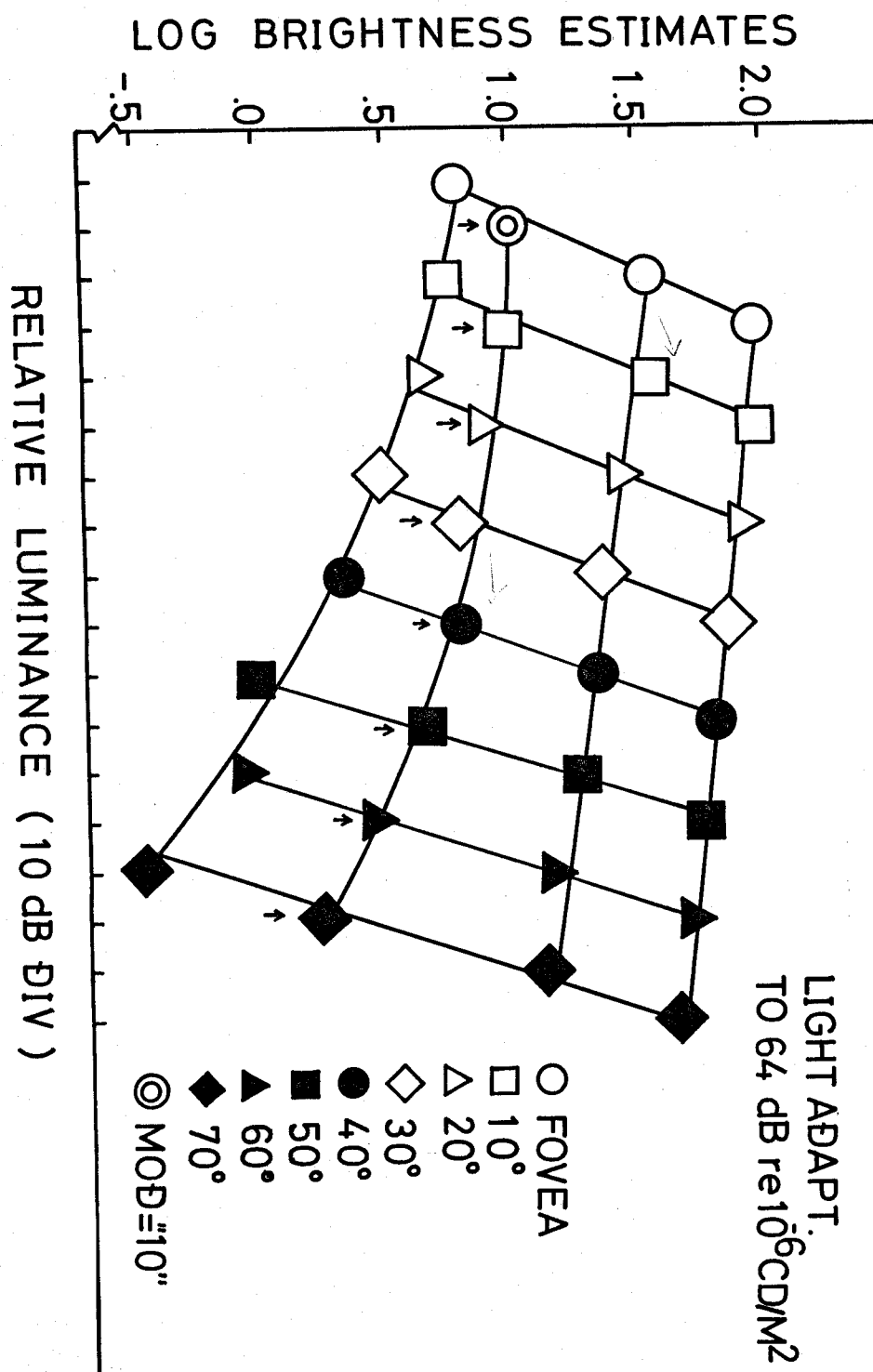


Fig. 33 Log brightness estimate as a function of log relative luminance under light-adaptation to 64 dB re  $10^{-6}$   $\text{cd/m}^2$ . Parameter is retinal locus. The slope of the line shows exponent of the brightness power function. Horizontal curves show equal luminance contours. One data point indicates a geometric mean based on 30 estimates across 6 observers. The arrow indicates 74 dB.

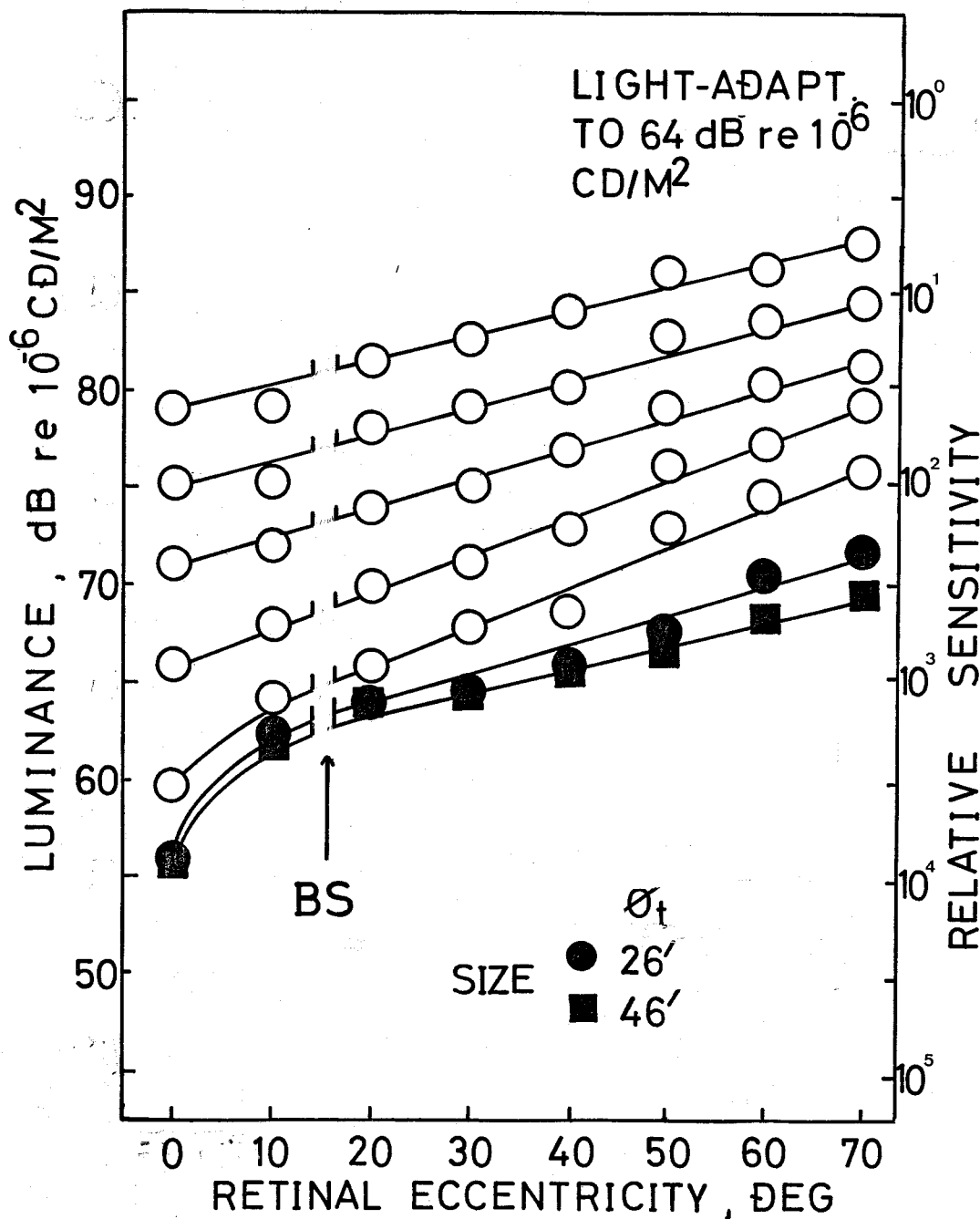
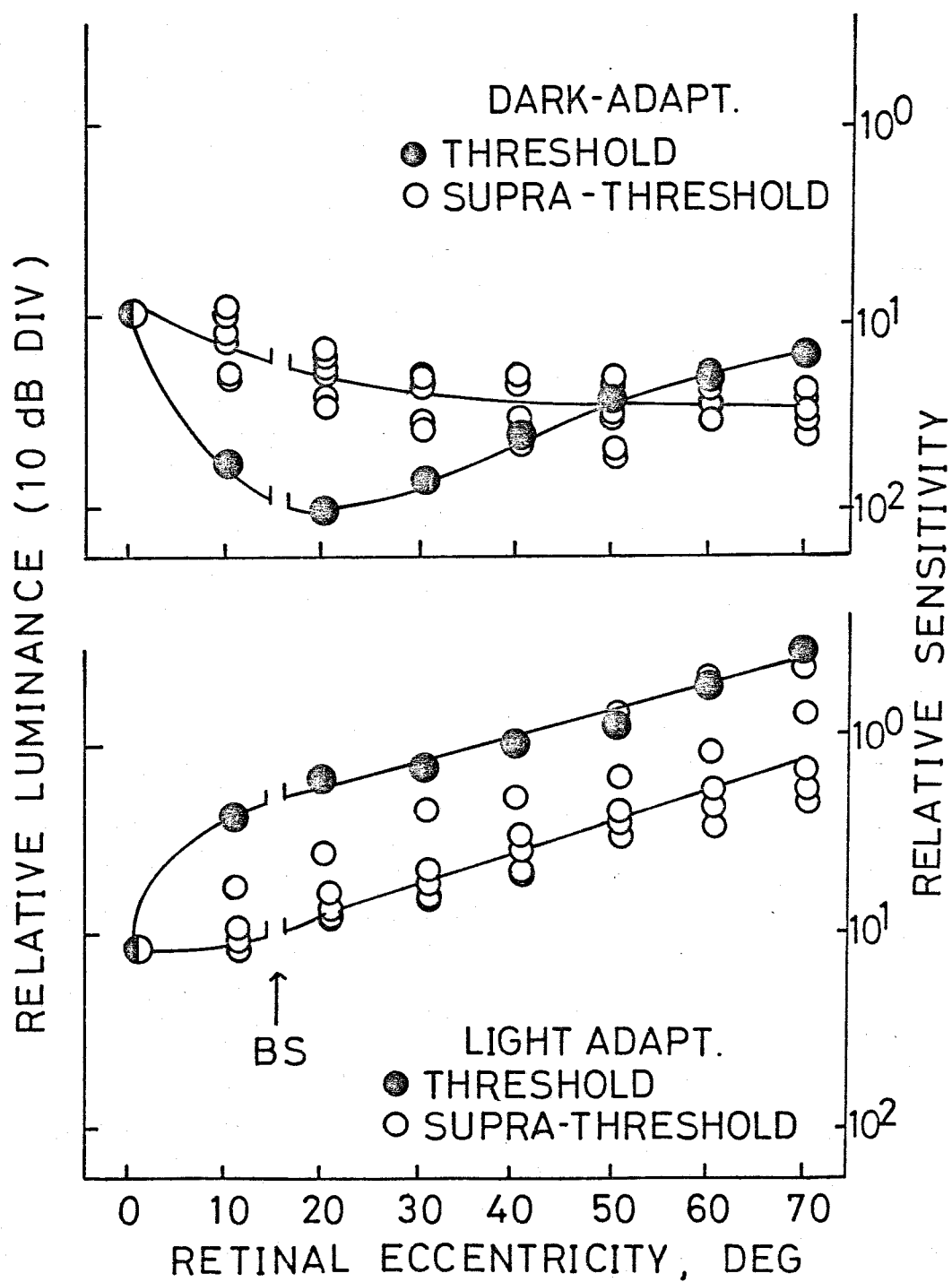


Fig.34 Equal brightness contours across the retinal locus under light-adaptation to 64 dB re  $10^{-6}$  cd/m<sup>2</sup>. Luminance required for constant brightness changes as a function of retinal eccentricity. Filled circles (26') and squares (46') show detection threshold ( $\phi_t$ ), and open circles indicate equal brightness contours at each levels. BS: Blind spot.

Fig.35 Equal brightness contours for threshold and averaged supra-threshold function across the retinal locus under dark- and light-adaptation. BS:Blind spot.



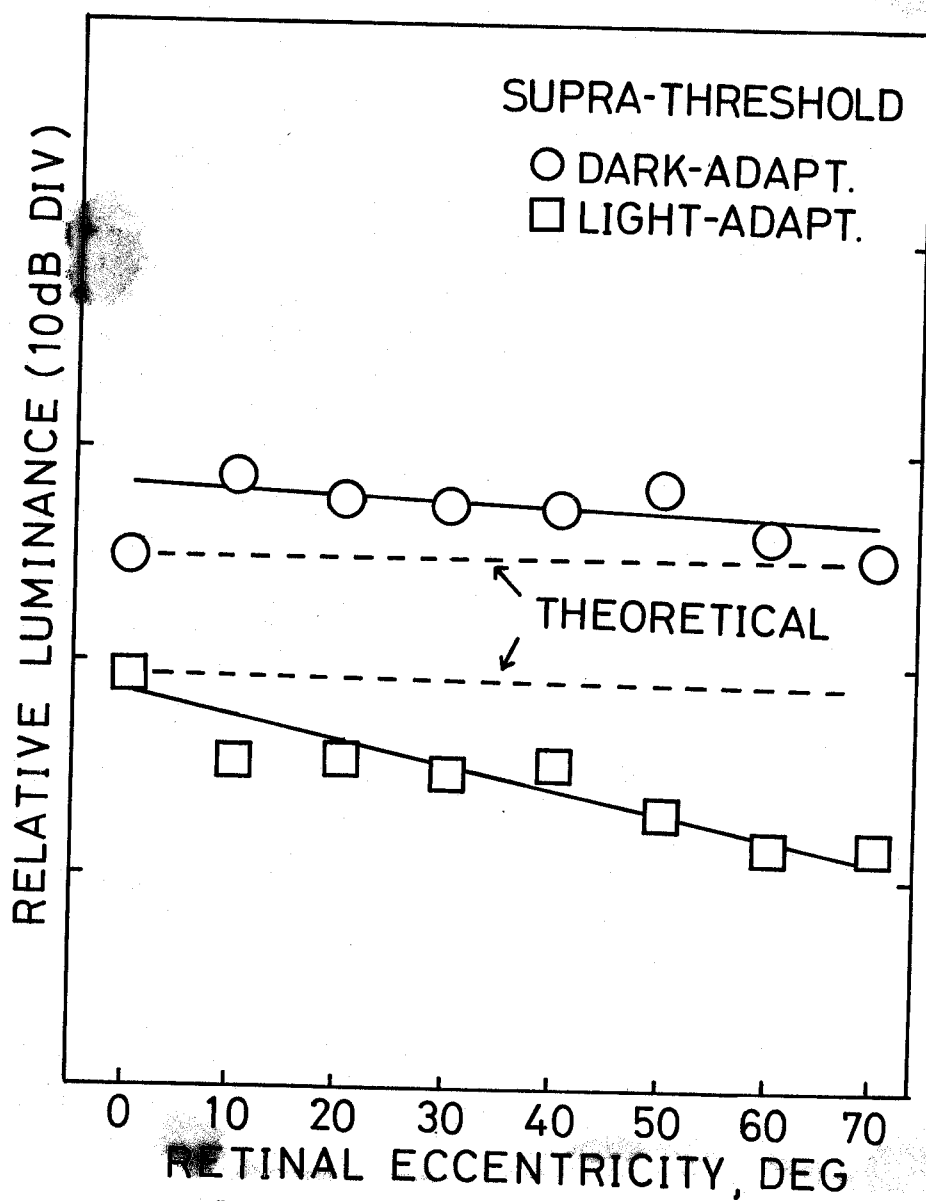


Fig.36 Differences between the highest and the lowest criterion equal brightness contours for dark- and light-adaptation (in dB). Dashed lines show predicted theoretical contours assuming the exponent of the function is independent of retinal locus.

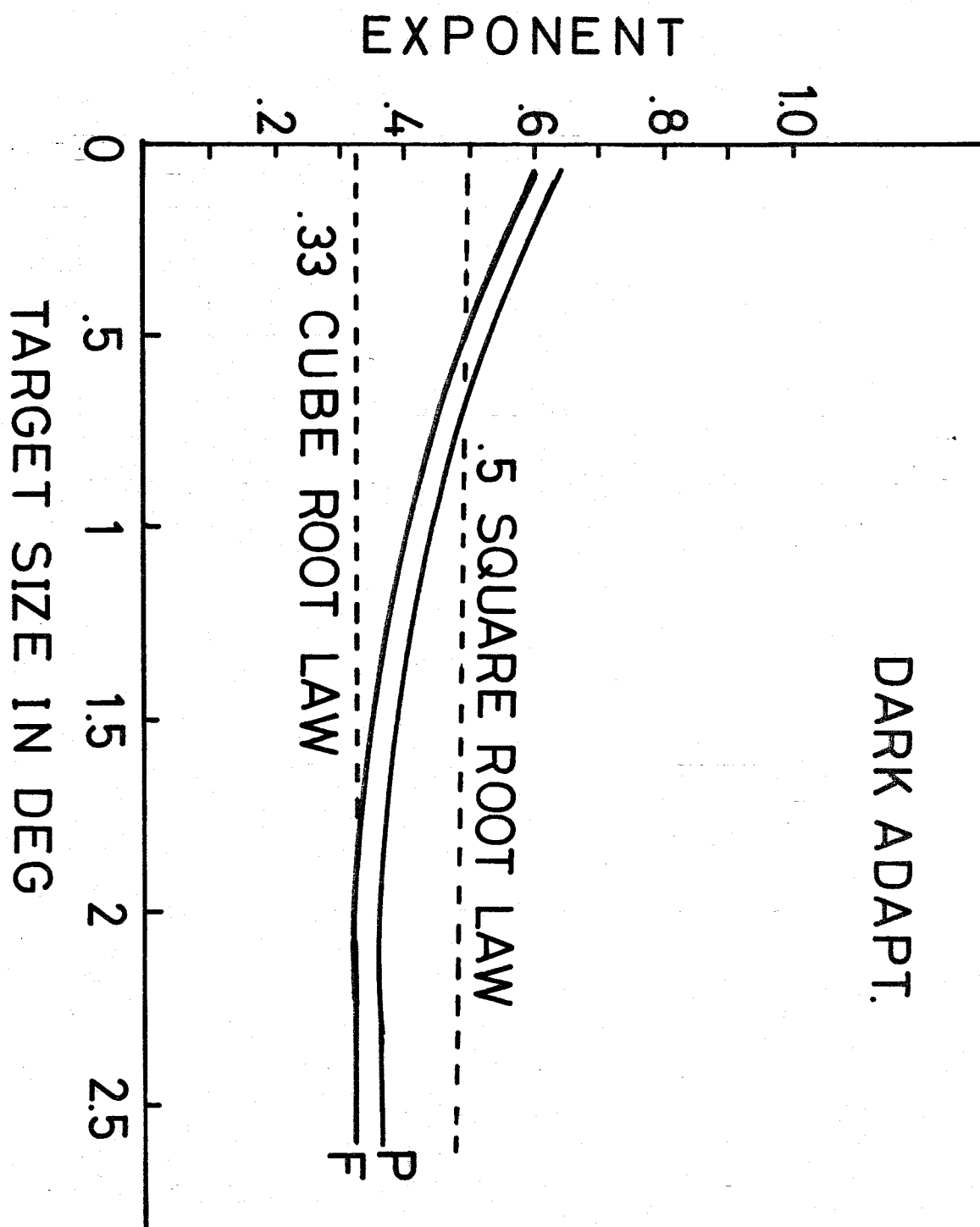


Fig.37 Brightness exponent as a function of target size.  
A schematic model. P; Periphery, F; Fovea.



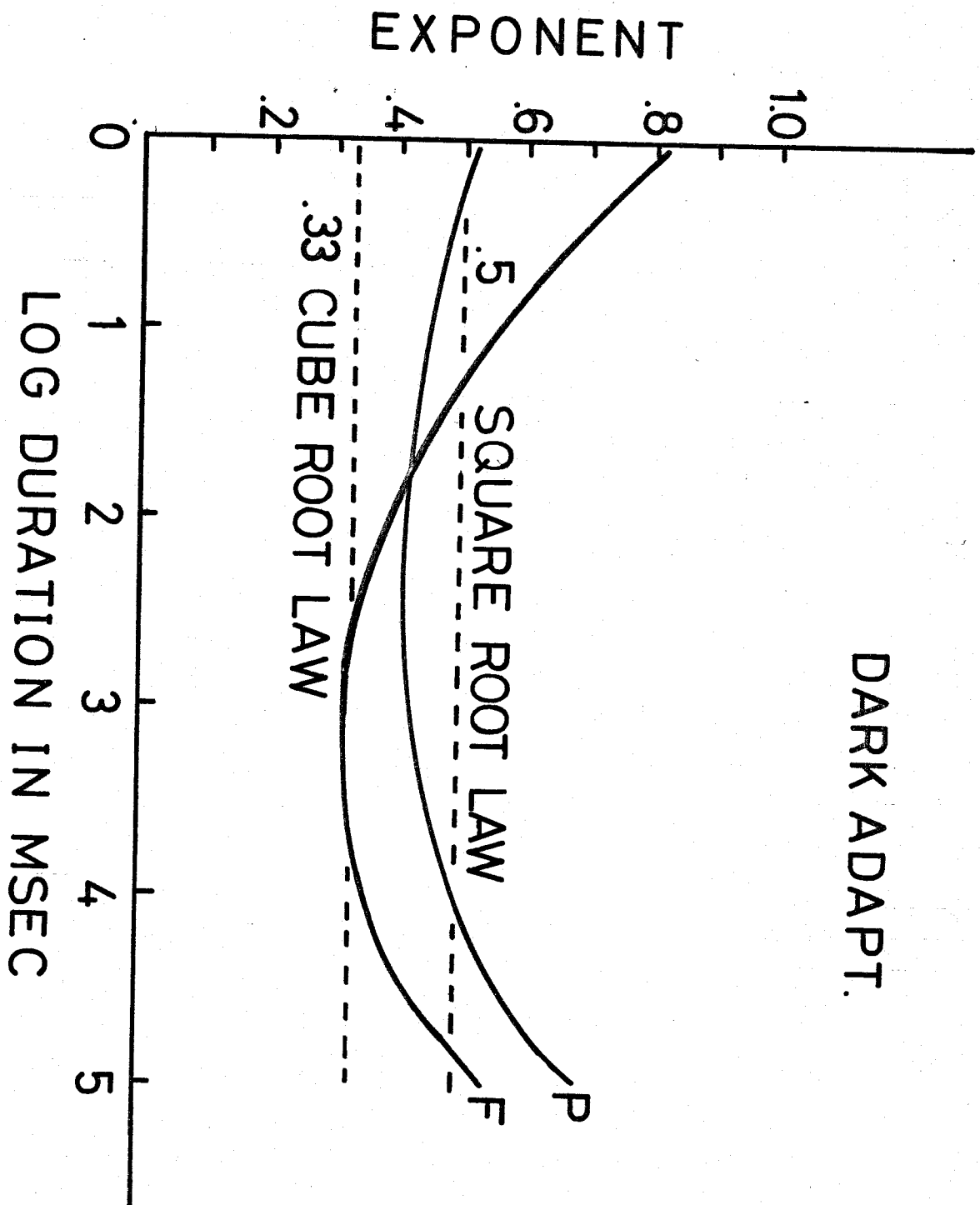


Fig.38 Brightness exponent as a function of log duration.  
A schematic model: P; Periphery, F; Fovea.

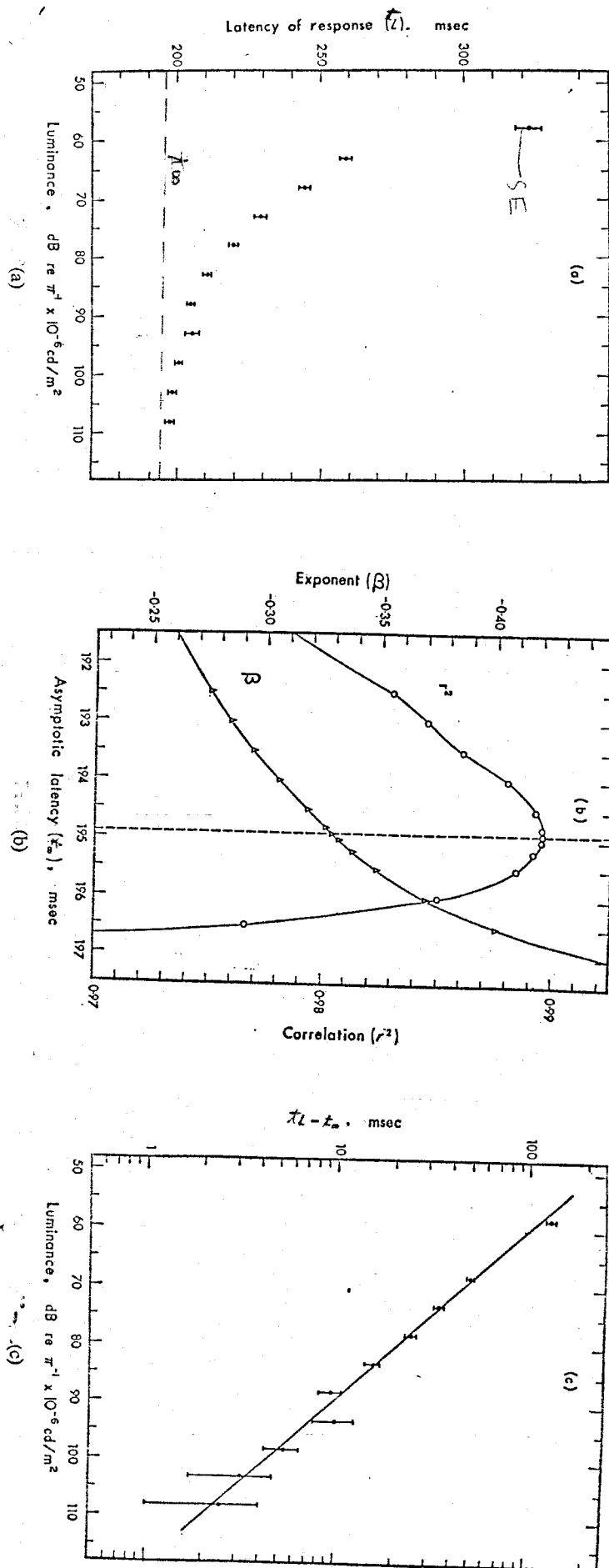


Figure 39. Latency power function  
(After Mansfield, 1973b)

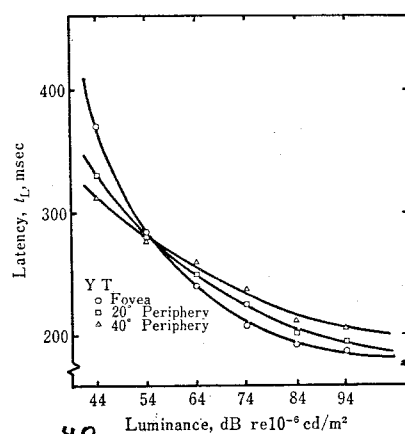


FIG. 40 Visual latency ( $t_L$ ) as a function of log luminance. Parameter is retinal locus. Each point indicates geometric mean based on 50 trials. Subject YT.

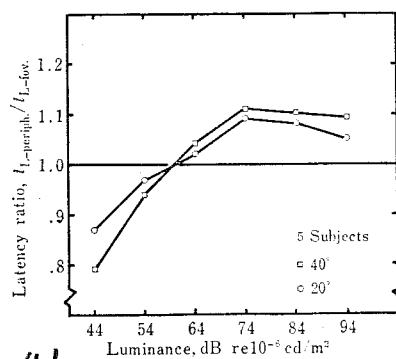


FIG. 41 Latency ratio (periphery/fovea) as a function of log luminance. Parameter is retinal locus. Ratio was calculated from combined data of five subjects.

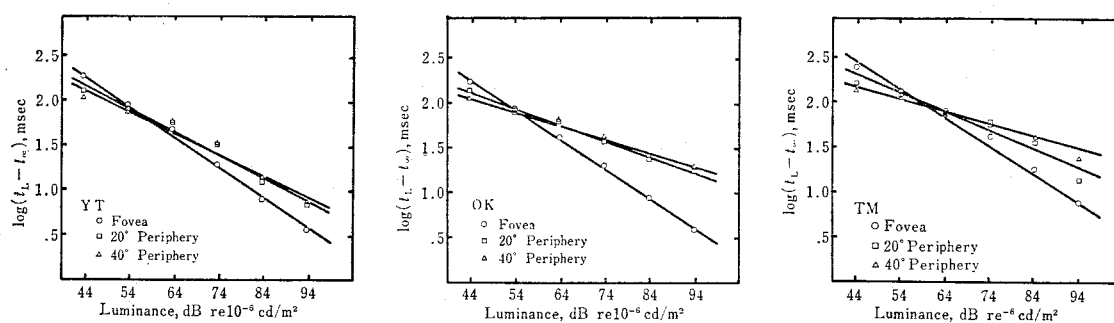


FIG. 24  $\log(t_L - t_\infty)$  as a function of log luminance. Parameter is retinal locus. Each point is based on 50 trials. Data from three subjects are shown.

TABLE 5

Parameters of latency functions in the fovea and in the periphery. Data points were fitted to power functions of the form  $t_L - t_\infty = k \cdot I^\beta$  by the method of least squares. The asymptotic latency,  $t_\infty$ , was estimated by maximizing the Pearson product moment correlation coefficient

Subject	Retinal locus	Latency exponent $\beta \pm \hat{\sigma}_\beta$ <sup>†</sup>	Asymptotic latency, $t_\infty$ , in msec	Locus lag $t_\Delta$ in msec	Pearson product moment correlation, $r^2$
YT	Fovea	$-.34 \pm .01$	185	—	.992
	20°	$-.27 \pm .02$	188	3	.963
	40°	$-.26 \pm .03$	202	17	.930
OK	Fovea	$-.33 \pm .01$	183	—	.995
	20°	$-.20 \pm .01$	188	5	.988
	40°	$-.18 \pm .01$	195	12	.990
MR	Fovea	$-.23 \pm .01$	208	—	.994
	20°	$-.19 \pm .02$	214	6	.957
	40°	$-.18 \pm .01$	220	12	.975
TM	Fovea	$-.30 \pm .02$	200	—	.978
	20°	$-.21 \pm .03$	206	6	.908
	40°	$-.17 \pm .02$	209	9	.927
FD	Fovea	$-.33 \pm .02$	204	—	.974
	20°	$-.26 \pm .02$	212	8	.980
	40°	$-.20 \pm .03$	214	10	.940
Mean	Fovea	$-.31 \pm .01$	196	—	.987
	20°	$-.23 \pm .02$	202	6	.959
	40°	$-.20 \pm .02$	208	12	.952

<sup>†</sup> Standard error of the exponent estimated by means of equation (3).

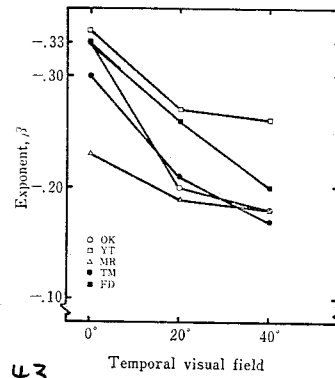


FIG. 43 Latency exponent ( $\beta$ ) as a function of retinal eccentricity in the temporal visual field. Parameter is subject.

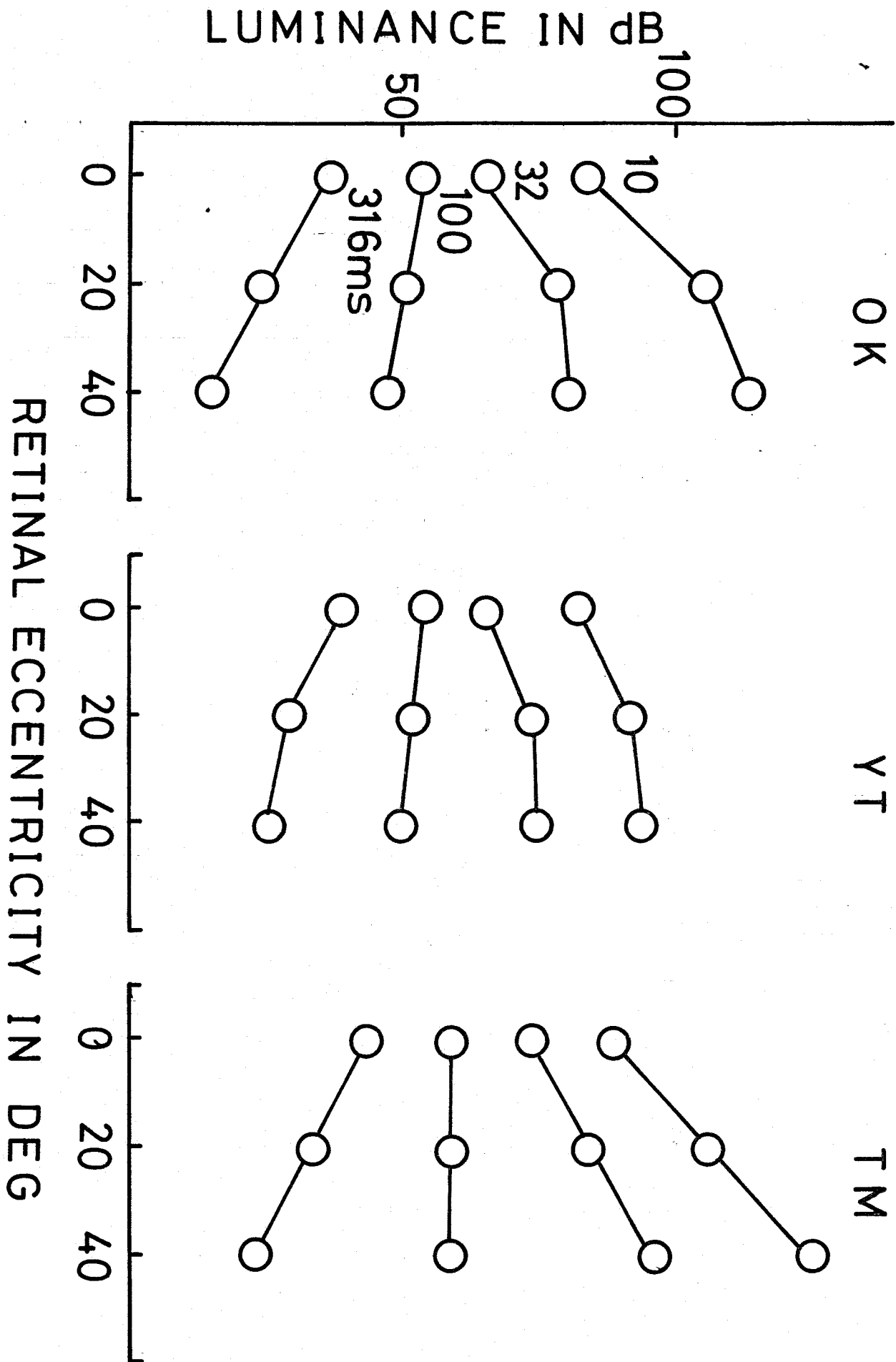


Fig.44 Equal latency contours as a function of retinal eccentricity. Three observers are shown.

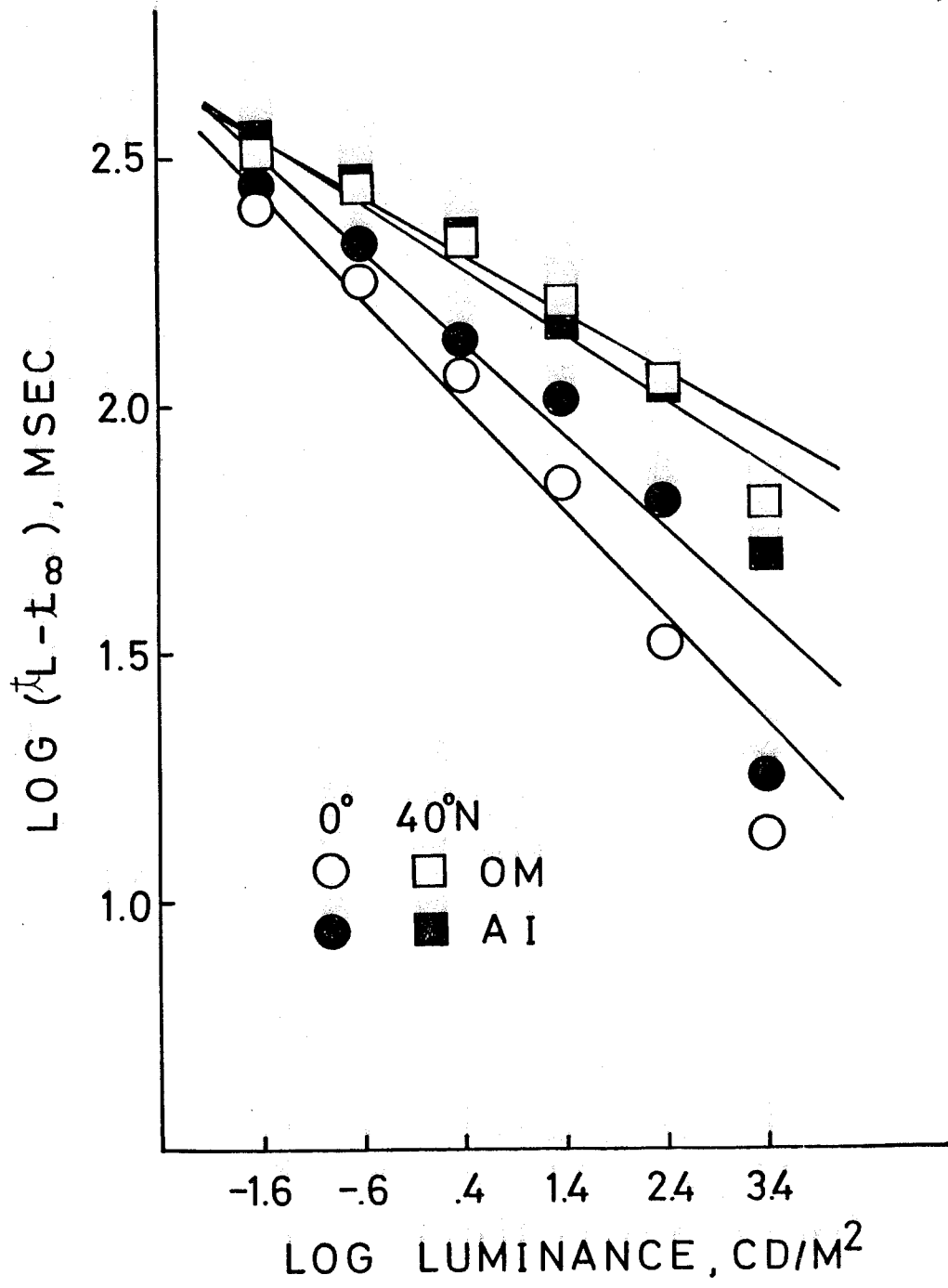


Fig. 45  $\log(t_L - t_{\infty})$  as a function of log luminance.



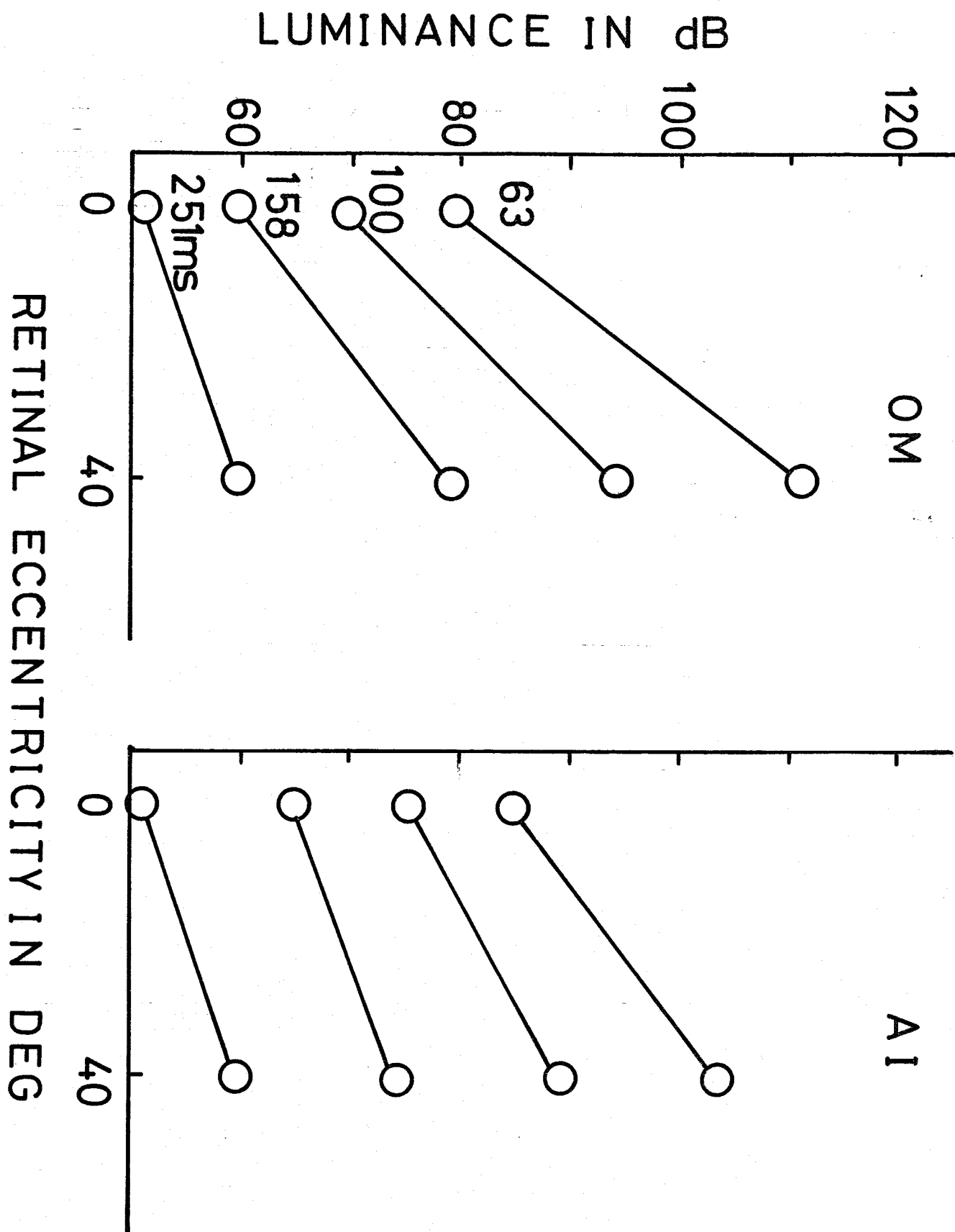
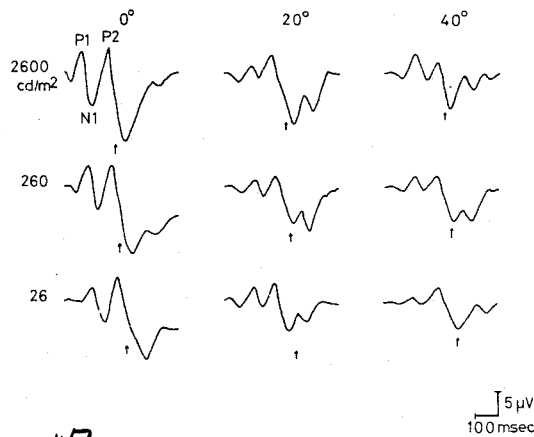


Fig.46 Equal latency contours as a function of eccentricity. Parameter is criterion latency. Two observers are shown.

786



47  
 Fig. 1. The VEPs recorded from the occipital region for subject Y.R. Each trace is based on 64 flashes to the fovea, 20° and 40° nasal retina of the right eye. The luminance of the flash was changed from 2600 to 26 cd/m<sup>2</sup>. Each arrow indicates mean RT. Positivity is upward deflection.

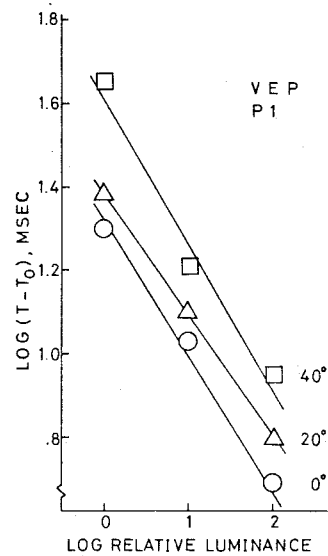


Fig. 2. Log VEP latency ( $T-T_0$ ) as a function of log relative luminance. Three luminance levels of 26, 260 and 2600  $\text{cd/m}^2$  were used. Each point indicates log geometric mean across the 6 subjects. For each subject for each condition 128 VEPs were averaged. Slope of the line shows the exponent of the VEP latency power function.

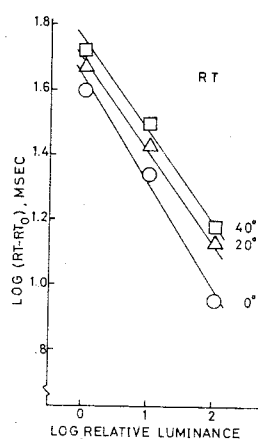


Fig. 49. Log RT ( $RT-RT_0$ ) as a function of log relative luminance. Three luminance levels of 26, 260 and 2600  $\text{cd/m}^2$  were used. Each point indicates log geometric mean across the 6 subjects. For each subject for each condition 128 RTs were averaged. Slope of the line shows the exponent of the RT power function.

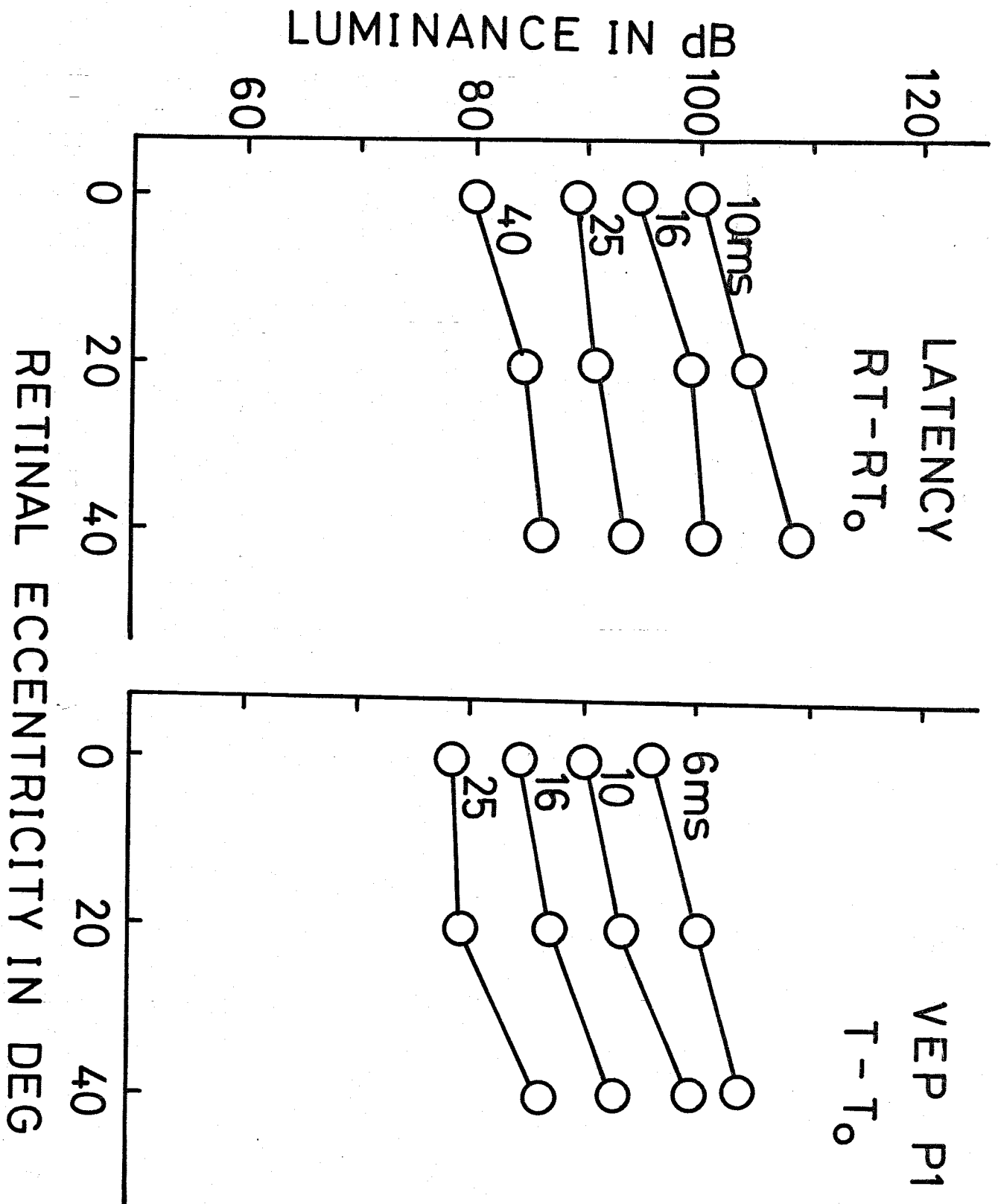


Fig.50 Equal latency contours as a function of eccentricity. Latency for visual evoked potentials (VEP) are also shown. Parameter is criterion latency.

6  
TABLE #

Parameters of the power functions for both VEP latency and RT for 3 retinal loci. The data were fitted to the power function of the form:  $T = kL^B + T_0$ , where T, k, L, B and  $T_0$  indicate VEP latency (or RT), scaling constant, luminance, exponent, and asymptotic latency, respectively. Coefficient of determination,  $r^2$ , are also shown.

		Retinal eccentricity		
		0°	20°	40°
RT	B	-0.32	-0.30	-0.30
	$RT_0$	236	255	262
	k	44	48	49
	$r^2$	-0.96	-0.98	-0.99
VEP	B	-0.33	-0.30	-0.35
	$T_0$	83	105	106
	k	26	22	40
	$r^2$	0.96	0.99	0.97

TABLE 7  
DISCREPANCIES BETWEEN PERCEIVED AND PHYSICAL LOCATION OF THE PERIPHERALLY  
PRESENTED TARGET AS A FUNCTION OF RETINAL ECCENTRICITY  
ALONG HORIZONTAL AND VERTICAL MERIDIAN

Discrepancy (in degrees)	10°	20°	30°	Half-meridian on the retina		10°	20°	30°	40°	50°
				<i>Temporal</i>				<i>Nasal</i>		
Mean	1.32	2.04	3.12	5.09	6.43	1.61	3.38	5.28	6.37	7.53
SD	.62	.67	.89	.76	1.43	.63	.60	.50	1.13	.66
				<i>Superior</i>				<i>Inferior</i> *		
Mean	1.17	2.47	3.61	4.47	6.43	1.79	3.38	4.46	5.16	(7.17) <sup>a</sup>
SD	.56	.95	1.23	1.15	.83	.68	.71	.96	1.19	—

<sup>a</sup> Because of the limitation of the upper visual field, a missed value was estimated by the method of least squares.

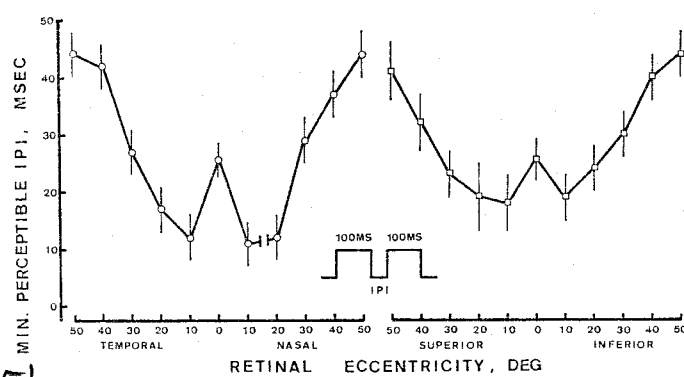


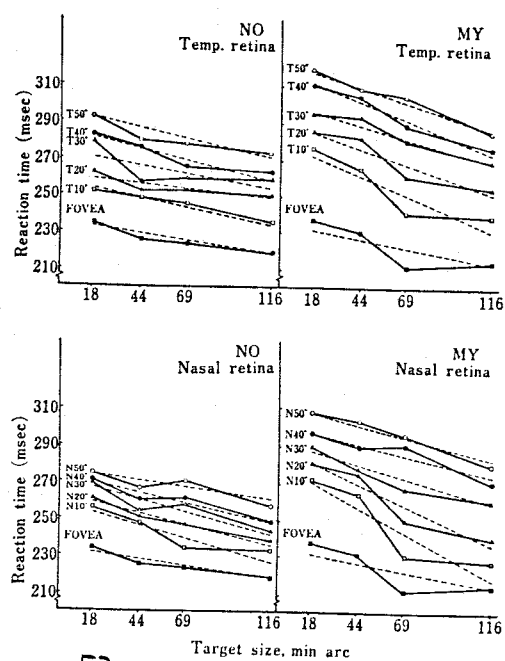
FIG. 1. Perceptible inter-pulse interval as a function of retinal eccentricity. Each point is based on 40 trials of five subjects. Vertical line shows standard deviation.



8  
TABLE 1

Mean reaction times and standard deviations in msec for different retinal loci and target sizes. N: nasal retina, T: temporal retina, and N50 means fifty degree point on nasal side eccentric to the fovea. Numbers of trials in each condition for one subject are  $n=140$ . Deviation is shown in parentheses

Target	Subject	N50	N40	N30	N20	N10	Fovea	T10	T20	T30	T40	T50
116'	NO	256 (19)	248 (17)	242 (17)	237 (16)	232 (17)	217 (18)	234 (20)	248 (17)	257 (16)	261 (19)	272 (19)
116'	MY	277 (18)	268 (16)	258 (16)	238 (17)	226 (20)	214 (18)	238 (19)	253 (19)	268 (19)	275 (21)	284 (18)
69'	NO	271 (21)	261 (18)	258 (17)	246 (18)	233 (15)	223 (12)	244 (15)	251 (16)	258 (17)	264 (15)	277 (18)
69'	MY	294 (18)	289 (19)	265 (17)	248 (19)	229 (18)	211 (17)	240 (19)	260 (18)	279 (20)	287 (19)	303 (22)
44'	NO	264 (20)	259 (17)	253 (18)	250 (19)	247 (16)	225 (18)	247 (16)	251 (18)	255 (23)	276 (19)	279 (21)
44'	MY	302 (18)	288 (18)	275 (17)	273 (18)	262 (17)	230 (16)	264 (17)	281 (17)	292 (17)	304 (19)	307 (20)
18'	NO	274 (24)	270 (19)	269 (19)	260 (20)	255 (19)	234 (15)	251 (21)	261 (20)	278 (20)	282 (23)	292 (26)
18'	MY	307 (23)	296 (20)	288 (20)	279 (18)	270 (20)	236 (18)	275 (21)	284 (19)	294 (21)	309 (25)	318 (24)



52  
 FIG. 7. Reaction time as a function of target size and retinal eccentricity. Parameter is retinal eccentricity. Two subjects NO and MY are shown. One point indicates a mean of 140 trials. Dotted line indicates the best fitting line. Parameters for each line are shown in Table 2.

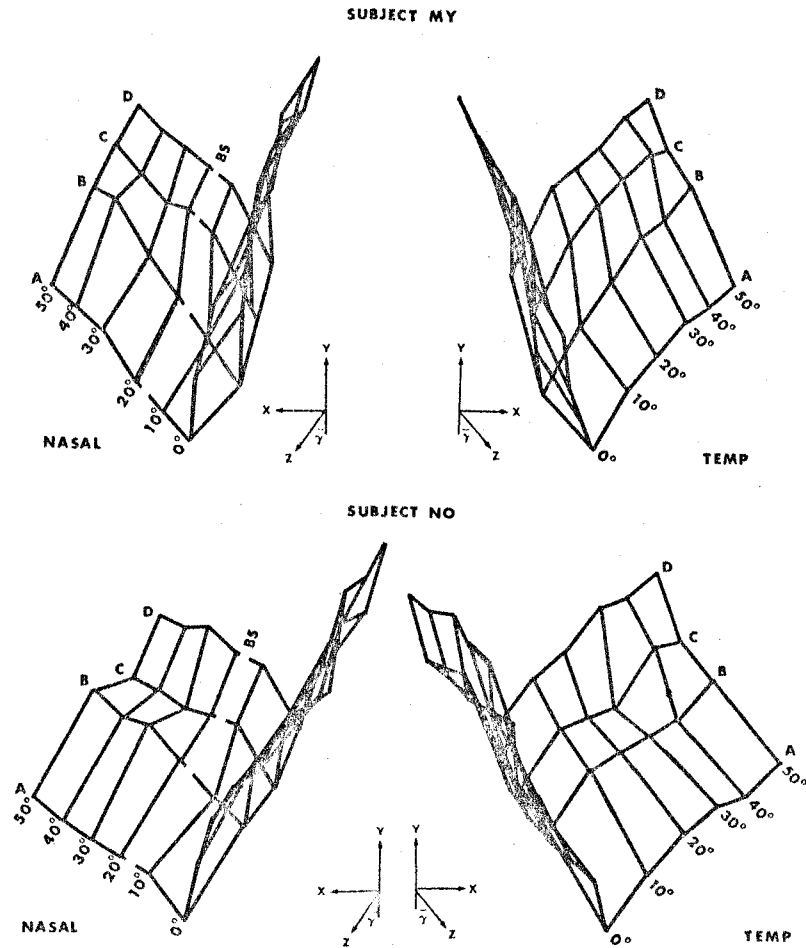


Fig. 52b 視野及びフラッシュ光面積の関数としての反応潜時  
Visual latency as functions of eccentricity and target size.

TABLE 2

Estimated parameters of the best fitting linear function using the method of least squares.  
 $RT (msec) = b + aS + u$ , where  $b$ ,  $a$ ,  $S$ , and  $u$  each indicates intercept, slope, size  
of the target, and standard error of estimate, respectively

Subject	Retinal eccen- tricity	Nasal side			Temporal side		
		$b$	$a$	$u$	$b$	$a$	$u$
NO	Fovea	235	-.16	2.65	235	-.16	2.65
	10°	257	-.24	5.96	255	-.17	1.53
	20°	262	-.22	2.73	260	-.11	3.92
	30°	270	-.24	6.10	273	-.17	9.93
	40°	272	-.20	4.02	284	-.22	4.41
	50°	276	-.16	5.54	291	-.18	4.73
MY	Fovea	238	-.24	8.32	238	-.24	8.32
	10°	277	-.49	11.68	279	-.40	9.12
	20°	287	-.45	7.17	291	-.34	6.79
	30°	290	-.30	4.47	301	-.28	3.69
	40°	302	-.27	4.96	317	-.37	3.61
	50°	314	-.31	2.43	324	-.34	1.46

TABLE 5<sup>10</sup>

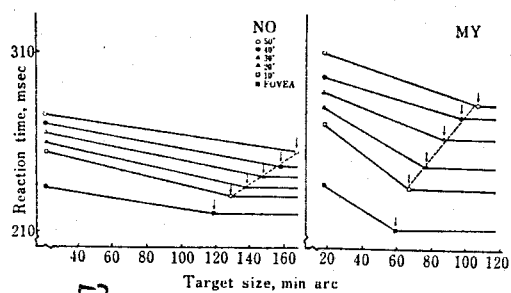
Mean differences of RTs (msec) and their *t*-levels between retinal corresponding points on both sides of the fovea (deg). N: nasal retina, T: temporal retina. Nasal and foveal RTs are subtrahends. Negative signs mean faster reaction-times on temporal side

Subject	Target size	Pairs of retinal corresponding points						
		T50 vs. N50	T40 vs. N40	T30 vs. N30	T20 vs. N20	T10 vs. N10	N10 vs. Fovea	T10 vs. Fovea
MY	116'	7**	7**	10**	15**	12**	12**	24**
	69'	9**	-2 <sup>n.s.</sup>	14**	12**	11**	18**	29**
	44'	5*	16**	17**	8**	2 <sup>n.s.</sup>	32**	34**
	18'	11**	13**	6**	5*	5*	34**	39**
NO	116'	16**	13**	15**	11**	2 <sup>n.s.</sup>	15**	17**
	69'	6**	3 <sup>n.s.</sup>	0 <sup>n.s.</sup>	5*	11**	10**	21**
	44'	15**	17**	2 <sup>n.s.</sup>	1 <sup>n.s.</sup>	0 <sup>n.s.</sup>	22**	22**
	18'	18**	12**	9**	1 <sup>n.s.</sup>	-4 <sup>n.s.</sup>	21**	17**

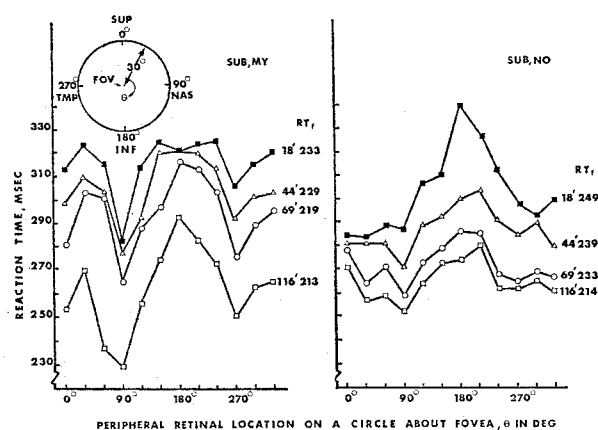
Note: One-tailed *t*-test, *df*=139, \*\*  $p < .01$ , \*  $p < .05$

TABLE 11  
Marginal means for each subject, target size,  
and retinal eccentricity in msec

Factor	Level	n (trials)	Mean
Subject	NO	6160	255
	MY	6160	271
Target size	116'	3080	250
	69'	3080	259
	44'	3080	268
	18'	3080	277
Retinal eccentricity	N50	1120	281
	N40	1120	272
	N30	1120	264
	N20	1120	254
	N10	1120	244
	Fovea	1120	224
	T10	1120	249
	T20	1120	261
	T30	1120	273
	T40	1120	282
	T50	1120	292



53  
 FIG. 2. Hypothetical relationships between target size and retinal eccentricity for each subject. It was hypothesized that receptive field size increases as a function of eccentricity. Points indicated with arrow show the point where the size of the target and the receptive field just overlapped.



54  
FIG. 7. Reaction time as a function of peripheral retinal loci on a circle 30° eccentric about the fovea. Parameter is target size. Two subjects, NO and MY, are shown. One point indicates a mean of 100 repetitions. RT<sub>f</sub>; Foveal reaction time.



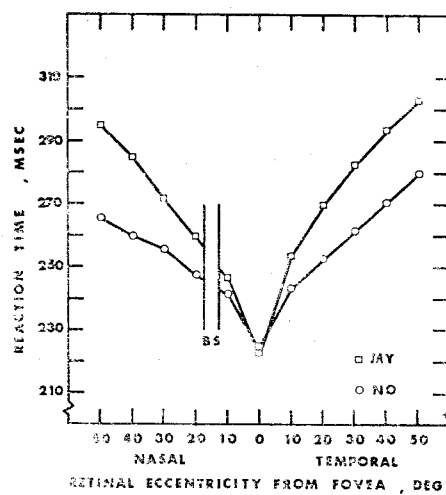
12  
TABLE 4MEAN DIFFERENCES OF RTs (MSEC.) AND *IS* BETWEEN VERTICAL AND  
HORIZONTAL RETINAL CORRESPONDING POINTS ON A CIRCLE ABOUT FOVEA

Subject	Target size	Pairs of vertical and horizontal retinal corresponding points ( $\theta$ in deg.)									
		0 vs 180	30 vs 150	60 vs 120	210 vs 330	240 vs 300	90 vs 270	300 vs 60	330 vs 30	240 vs 120	210 vs 150
MY	116'	39†	5	19†	18†	10†	22†	26†	-5	17†	8†
	69'	36†	-6*	-13†	18†	15†	10†	-12†	-8†	15†	16†
	44'	22†	10†	-11†	17†	13†	15†	-3	-7†	21†	0
	18'	8†	1	-1	5	10†	24†	-1	-4	10†	-1
NO	116'	3	17†	6†	19†	-3	10†	6†	4*	-3	6†
	69'	8†	15†	3	18†	-1	7†	-2	3	-6†	6†
	44'	19†	12†	9†	24†	1	14†	9†	0	2	12†
	18'	57†	28†	18†	27†	20†	9†	4*	16†	6†	16†

Note.—Degrees in polar coordinates ( $r, \theta$ ), where  $r = 30^\circ$  eccentric to the fovea.  $\theta = 0^\circ$ — $330^\circ$  in steps of  $30^\circ$  units to clockwise. Negative signs mean faster RTs on temporal or inferior side of the retina.  $t$  test,  $df = 99$ ,  $\dagger p < .01$ ,  $*p < .05$ .

13  
TABLE 2  
MARGINAL MEANS FOR EACH SUBJECT, TARGET SIZE,  
AND RETINAL ECCENTRICITY (MSEC.)

Factor	Level	<i>n</i> (trials)	<i>M</i>	Factor	Level	<i>n</i> (trials)	<i>M</i>
Subject	NO	5200	278	Retinal eccentricity	Fovea	800	229
	MY	5200	289		0°	800	283
Target size	116'	2600	260		30°	800	287
	69'	2600	279		60°	800	282
	44'	2600	291		90°	800	265
	18'	2600	304		120°	800	285
					150°	800	297
					180°	800	306
					210°	800	305
					240°	800	294
					270°	800	279
					300°	800	286
					330°	800	286



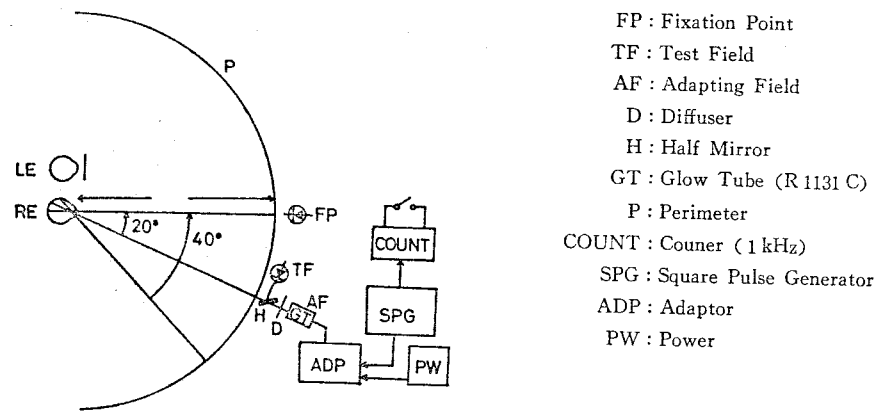
55  
 FIG. 4. Mean reaction time as a function of retinal eccentricity from the fovea. Each point indicates means of 560 trials. Data from two subjects are shown. BS: Blind spot.

14  
 Table 7. Nasal superiority on mean differences of RTs (msec) and their *t*-levels between corresponding retinal points on both sides of the fovea (deg. arc)

Subject	Corresponding retinal points				
	50°	40°	30°	20°	10°
NO	14**	11**	6*	5*	2ns
MY	8**	9**	11**	10**	7**
Mean	11.0	10.0	8.5	7.5	4.5

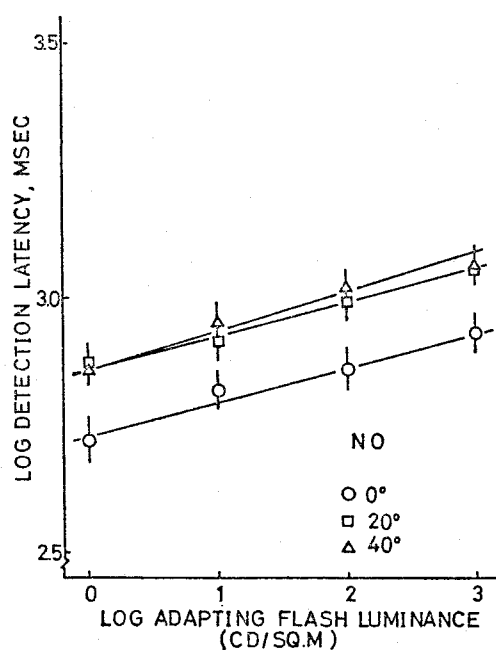
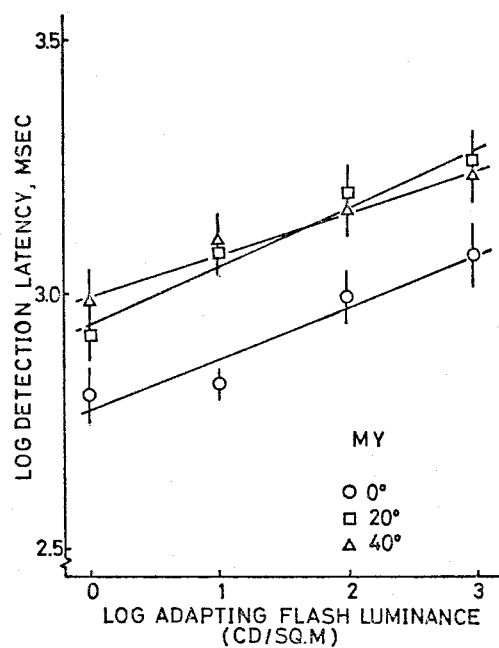
\* $P < 0.05$ .

\*\* $P < 0.01$ .



装置上面図とブロックダイアグラム  
 Experimental setup. Top view.

Fig.56 Experimental setup. Top view.



-A, B 順応フラッシュ輝度の関数としてのテスト  
刺激の確認時間 (回復時間)

A, B Detection latency as a function of  
adapting flash luminance.

Fig. 57 Detection latency as a function of  
adapting flash luminance.

潜時ベキ関数の推定パラメタ (輝度条件)

Parameters for the latency power function of the form :  $Lt = k \cdot L^\beta + Lt_0$ , where  $Lt_0$ ,  $L$ ,  $\beta$ ,  $k$ , and  $Lt_0$  indicates detection latency (in msec), luminance, exponent, scaling factor and asymptotic latency, respectively.

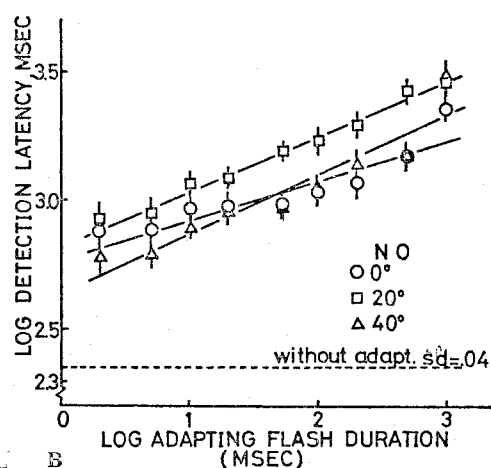
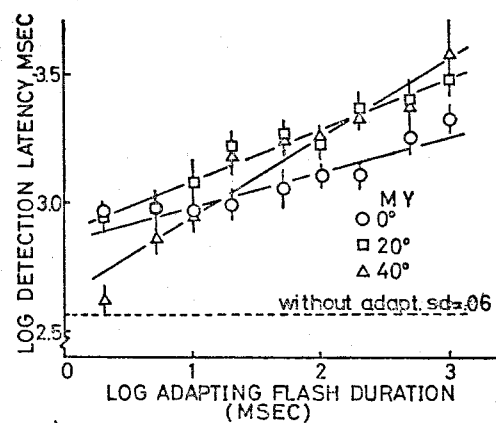
		$\beta$	$k$	$Lt_0$	$r^2$
NO	0°	0.096	303	224	0.97
	20°	0.074	478	250	0.99
	40°	0.091	474	250	0.97
MY	0°	0.159	245	363	0.93
	20°	0.153	505	380	0.94
	40°	0.107	598	400	0.93

潜時ベキ関数の推定パラメタ (呈示時間条件)

Parameters for the latency power function of the form :  $Lt = k \cdot D^\beta + Lt_0$ , where  $Lt$ ,  $D$ ,  $\beta$ , and  $k$ , and  $Lt_0$  indicates detection latency (in msec), duration, exponent, scaling factor and asymptotic latency, respectively.

		$B$	$k$	$Lt_0$	$r^2$
NO	0°	0.174	394	224	0.90
	20°	0.250	444	250	0.99
	40°	0.289	241	250	0.89
MY	0°	0.200	335	263	0.91
	20°	0.241	437	380	0.95
	40°	0.620	61	400	0.93

Table 15. Estimated parameters of the latency power functions.



A, B 順応フラッシュ呈示時間の関数としてのテスト刺激の確認時間 (回復時間)

A, B Detection latency as a function of adapting flash duration.

Fig.58 Detection latency as a function of adapting flash duration.



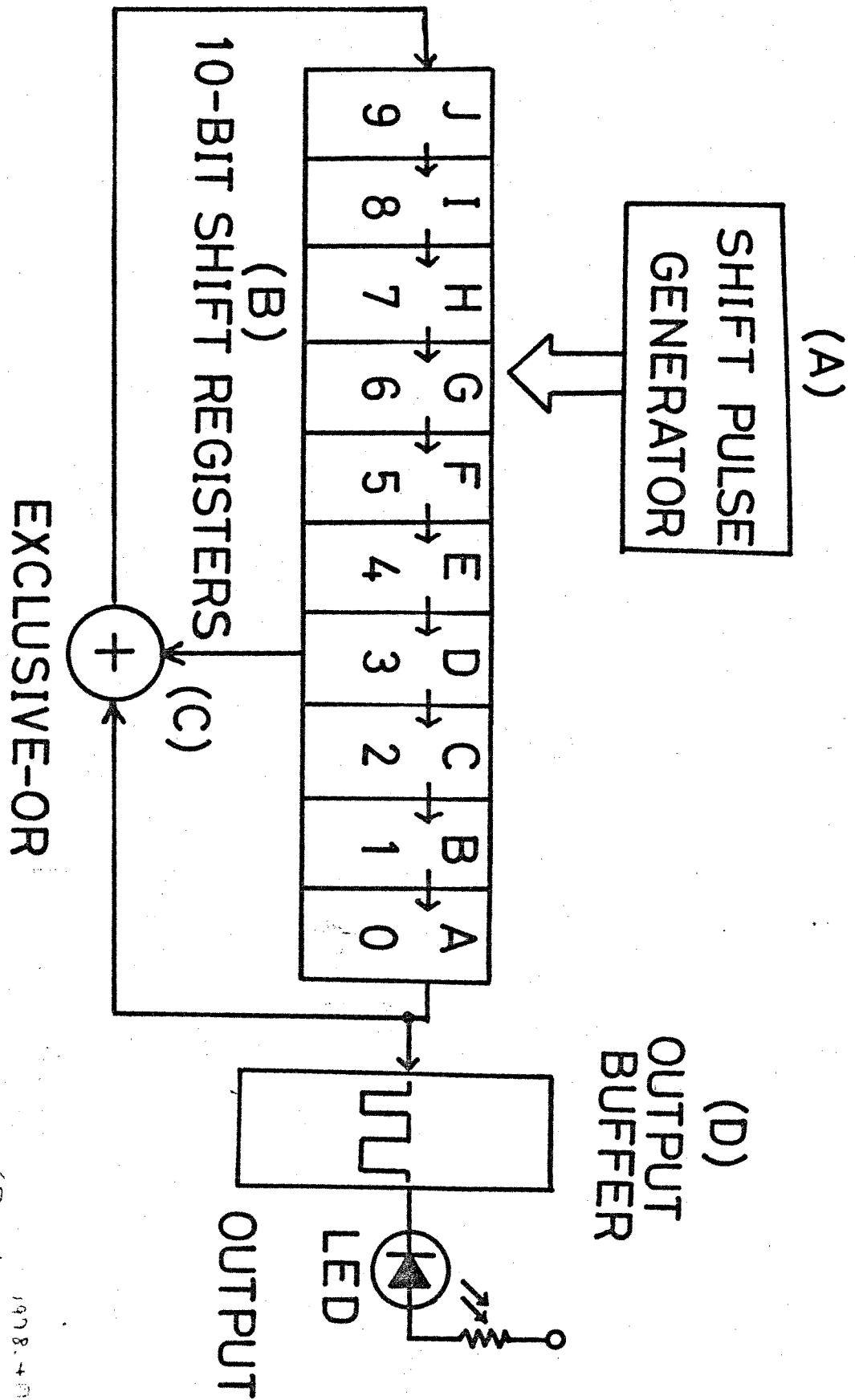


Fig.59 Block diagram of the system.

1998-10  
(REVISED, 10/20/98)  
FIG. 1 (Contd.)

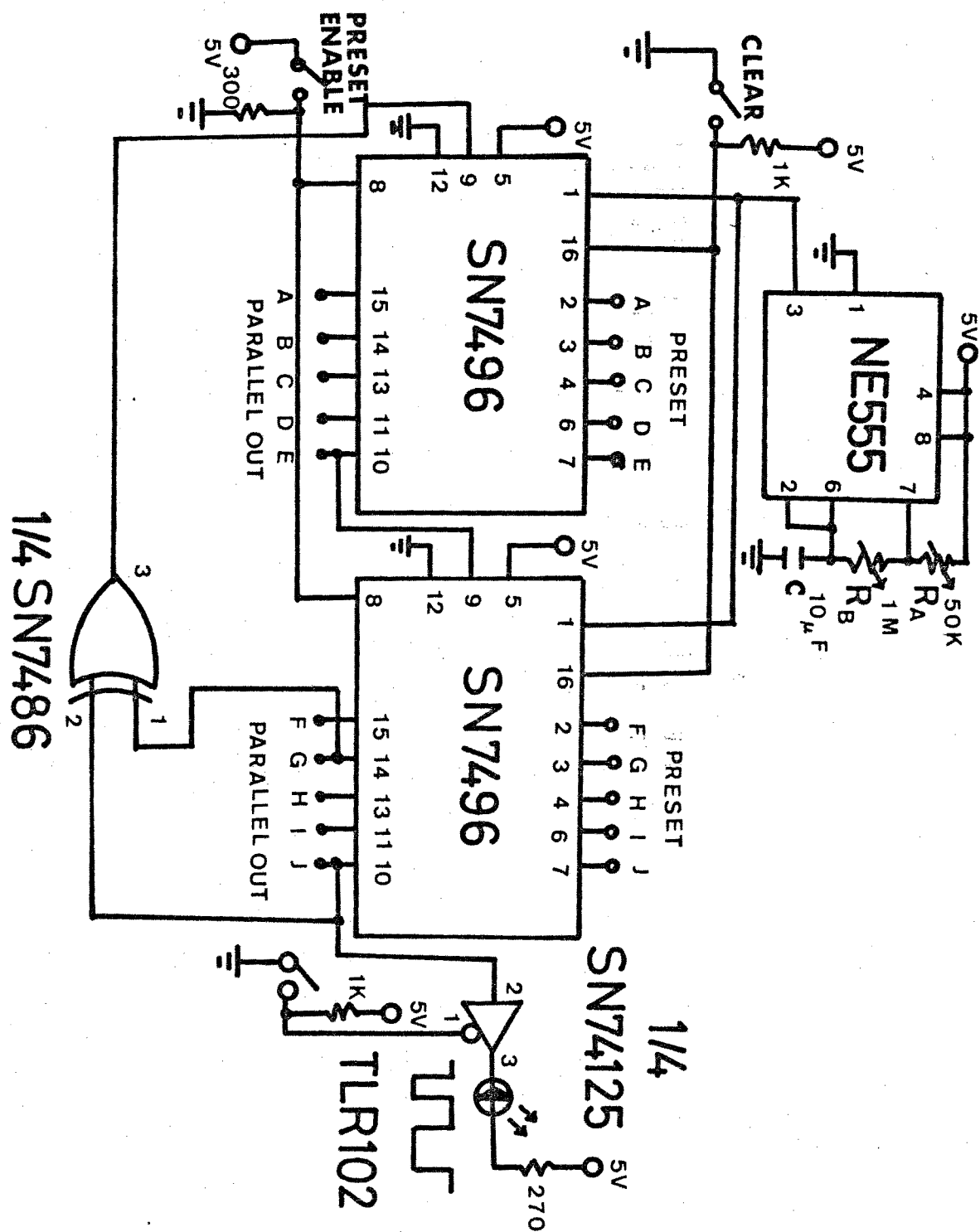


Fig. 6o Circuit implementation for quasi-random pulse generator.

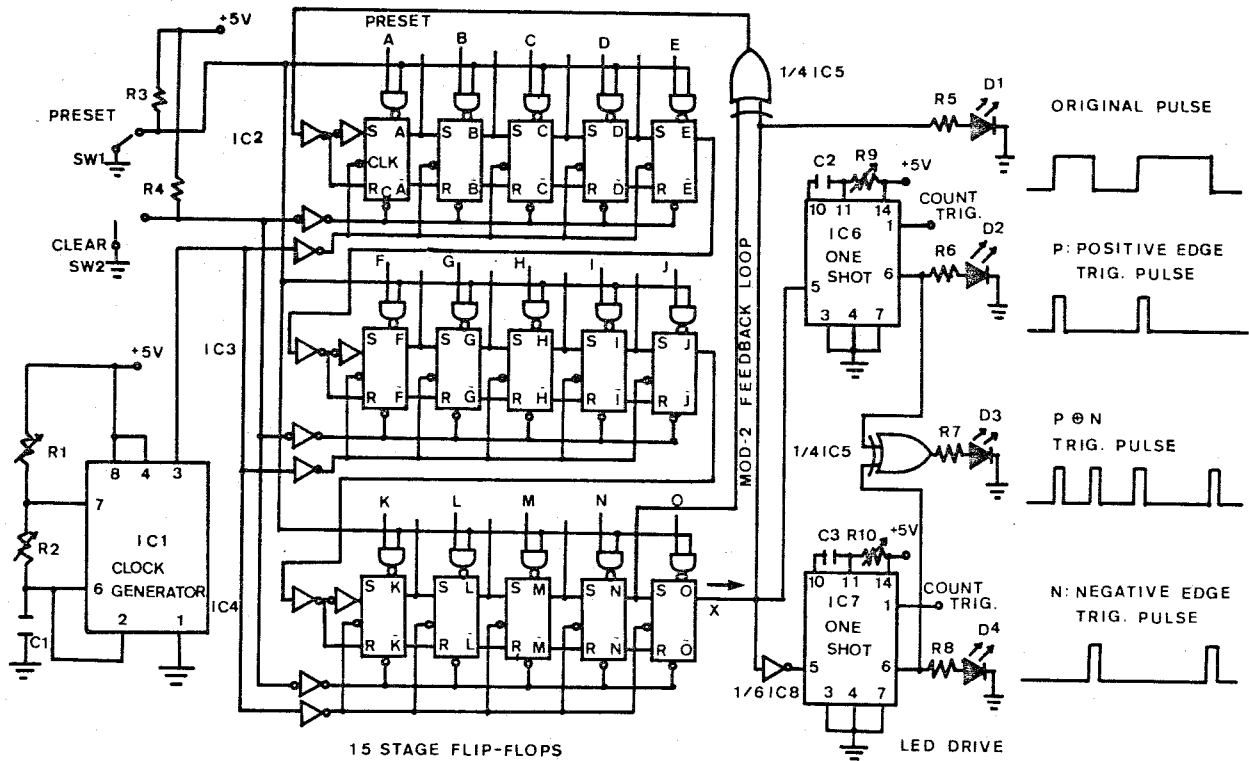
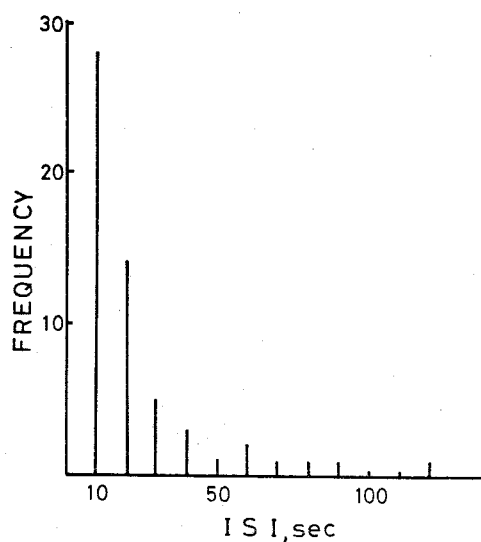


Fig. 61 Low-cost circuit for a quasirandom interpulse interval generator.

$$\begin{bmatrix} F \\ O \\ N \\ \vdots \\ \vdots \\ C \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 000 \dots 11 \\ 1 & & 0 \\ & 1 & 0 \\ & & \ddots \\ & & & 100 \\ & & & & 10 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} O \\ N \\ M \\ \vdots \\ \vdots \\ B \\ A \end{bmatrix}$$

$$[\phi_{n+1}] = [T] [\phi_n],$$

where  $[T]$  is the transition matrix, and A, B, ..., N, O correspond to 1st, 2nd, ..., 15th register, respectively. For example, if  $\phi_n = [000 \dots 010]$ , then  $\phi_{n+1} = [100 \dots 001]$ ,  $\phi_{n+2} = [110 \dots 000]$ , and  $\phi_{n+3} = [011 \dots 000]$  are obtained.



Frequency histogram of the output.

Fig.62 Principle of random pulse generation and output histogram.

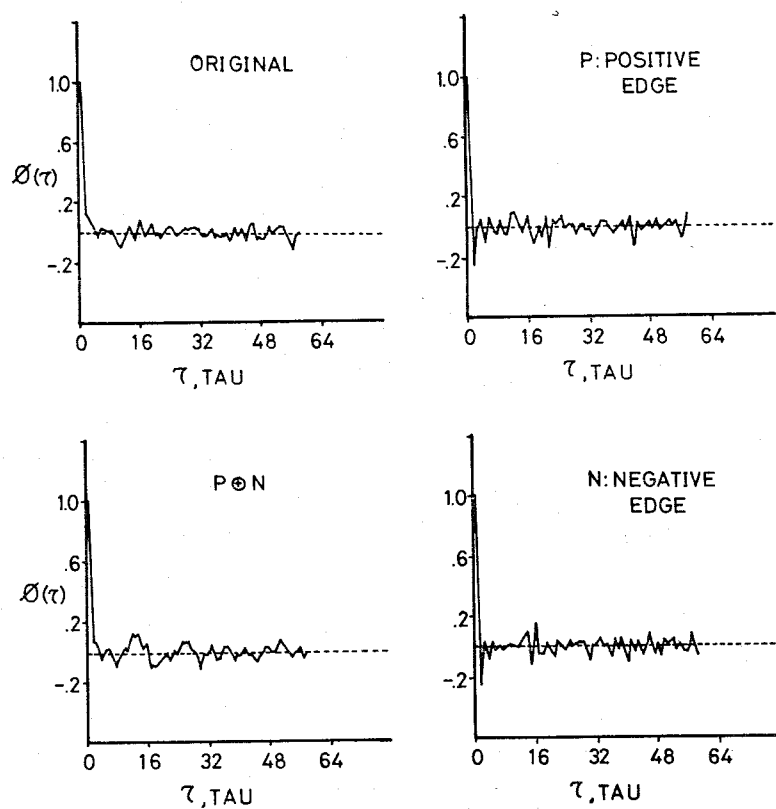


Fig. 63 . Autocorrelation  $\phi(\tau)$  as a function of  $\tau$ . An output analysis.

## 実験の流れ図

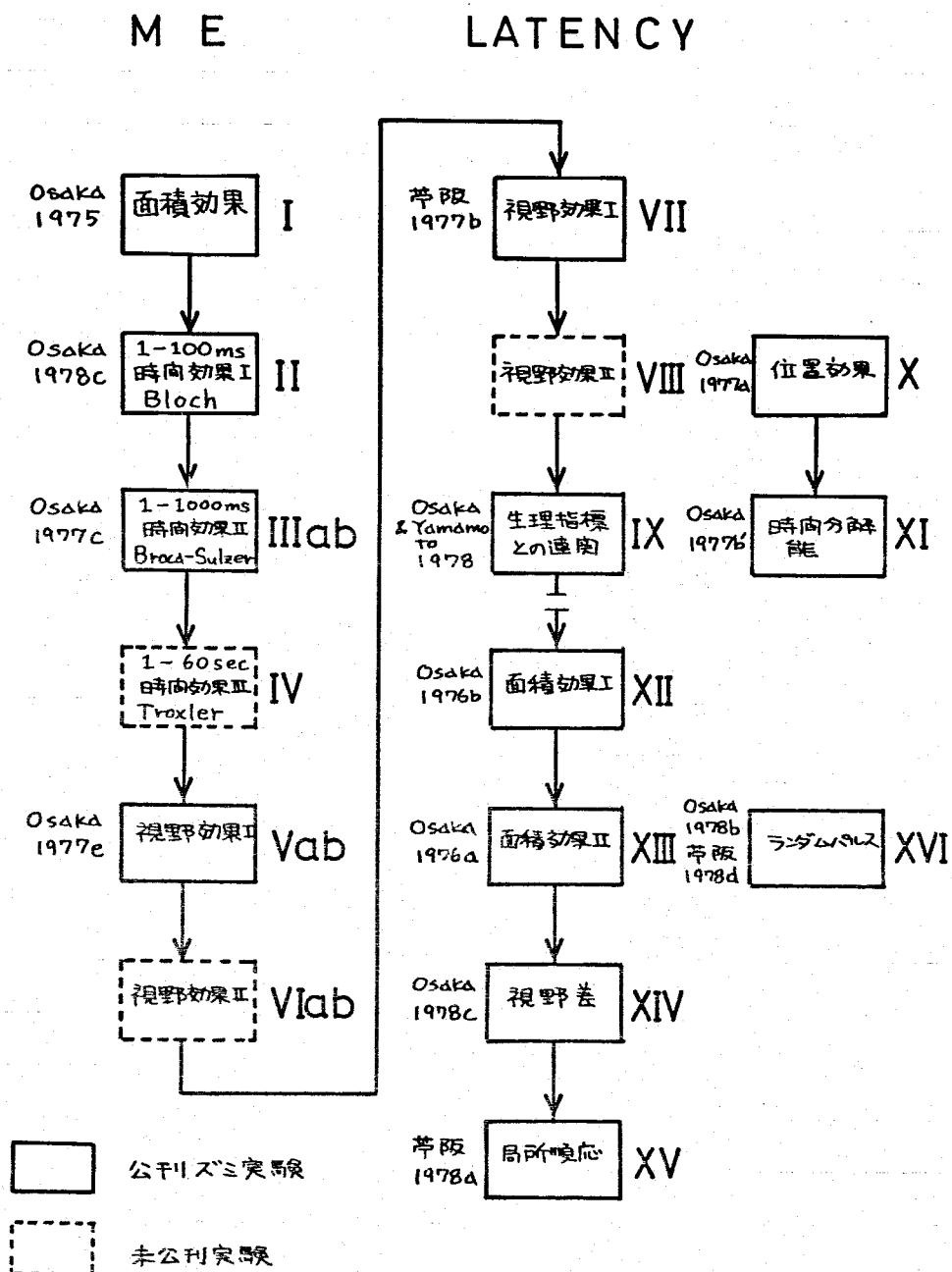


Fig.64 A general flow chart of the experiments.